前　言

我国著名科学家钱学森先生在他逝世前曾经向温家宝总理提出一个问题：新中国成立60年来我国为什么还培养不出一位真正杰出的科学家？鉴于钱老的问题之重要性，温家宝总理在五年前（2006年）把此问题在报纸上公之于众。报纸并根据钱老的问题，把它引申为三个更具体的问题：

（1）为什么我国现在生产出的学术垃圾这么多？

（2）为什么我国能出数学奥林匹克冠军，却出不来国际公认的数学大师？

（3）为什么我国到现在还出不来一位诺贝尔科学奖得主？

这些问题在报纸上公布以后，在全国有关各界中引发出一场热烈的讨论。这些问题被大家简明地概括为“钱学森之问”。到目前为止，这场讨论还比较集中在我国教育系统中存在的问题，对于我国科技系统中所存在的问题，还涉及得比较少。然而，科技界的问题却并不比教育界的问题少。我们从上面的第二个问题就可看出：既然我国能出数学奥林匹克冠军，就说明我国的教育系统还是有成绩的，问题的关键还在科技界，特别是基础科学和应用基础科学界，这才是我国出不来国际公认的数学等学术大师的主要原因。有鉴于此，作者在本书中主要讨论了这方面的问题。

温家宝总理最近还着重指出：要使我国真正强大起来，主要还要靠科技力量。显然，基础科学和应用基础科学的力量也包含在其中。虽然这部分所涉及的人数比较少，但是朋友们已经指出，它所处的地位十分重要，因为它是一个战略性的事业。第一，只有它才是一个国家科学力量的真正代表，真正杰出的科学家主要应出在这个范围。第二，一旦在基础科学和应用基础科学领域有所突破，就会给其他应用科学和工程技术部门带来实际的利益。本书讨论的问题主要就集中于此。

本书从我国的科研体制、科研管理政策、科研方向、科学研究的方法等方面来讨论我国基础科学和应用基础科学系统中存在的问题。在讨论中主要参照了国际上著名的剑桥大学的实际情况。

剑桥大学是世界科学的一块圣地。那里走出了现代科学的三大巨人：牛顿、麦克斯韦和卢瑟福。牛顿以他的经典力学，麦克斯韦以他的经典电磁理论，卢瑟福以他发明的原子模型，都曾为人类科学和社会的发展做出了彪炳史册的伟大贡献。进入20世纪以来，剑桥大学又以盛产诺贝尔科学奖得主和诺贝尔级的科学成果著称于世。几百年来，她都在世界基础科学和应用基础科学中雄踞领先地位，长盛不衰，堪称是世界科学史上的一个奇迹。因此认真地向剑桥大学学习，应该是解决“钱学森之问”的一条有效途径。在参照剑桥大学的实际情况中，我们又主要集中在她的应用数学和理论物理系，和这个系的创办人和领导者——已故国际流体力学大师 G. K. Batchelor 教授。Batchelor 教授创办这个系的时间不

长，是1959年才创办的，说起来比我们的共和国还年轻10岁，且规模很小，只有30人，办学经费也就更少。但是50多年来，这个小小的理论物理系，已为世界贡献出一位国际公认的理论物理大师——霍金教授。Batchelor教授自己也成为20世纪下半叶又一位国际公认的流体力学大师。此外，在这个规模不大的系里，人们还能研制出相当多的诺贝尔级的科学成果。因此，他们是怎样创造出这些了不起的成就，其中的经验确实很值得我们学习。当然，解决“钱学森之问”是个大工程，远非这本书所能完全胜任。如果这本书能够在这个大工程中起到一点抛砖引玉的推动作用，我就会感到十分欣慰。

温景嵩

2011年7月29日于南开园

目　　录

Maximum Freedom in the hands of Good People

——谈剑桥的学术自由、学术平等和选拔人才的标准

1 引子

这一章的题目采用了 Batchelor 教授对学术自由问题所讲的原话："给优秀的人才以最大限度的自由。"

在讨论"钱学森之问"时，一些朋友对我讲："我国学术氛围不够宽松，这是60年来我国培养不出一位真正杰出的大科学家的重要原因。"我很同意这些朋友的意见。本文现在就试图从剑桥大学 Batchelor 教授对这问题的看法和做法，以及他那个应用数学和理论物理系的实际情况，来探讨此问题。Batchelor 教授是这个系的创办人和领导者，他是如何在他这个系里实行学术自由的政策并且取得成功，可能会有值得我们借鉴之处。

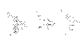
2 实行学术自由的第一个依据

Batchelor 教授早已证明，探索大自然未知世界奥秘的基础科学事业具有不可规划性和不可计划性。既然如此，基础科学研究事业的发展就全靠科研人员自己个人的兴趣、个人的主动性。这正是在基础科学研究事业中实行学术自由的第一个依据。

只有科研人员在完全无拘束、不是被别人强制规定的情况下，对于他自己所感兴趣的问题进行了长期而自由的探索，才有可能对某一重要的科学问题取得突破性进展。我当年在剑桥进修两年多，我就完全看不到他们那里有什么规划会、计划会，就像我们那时的科学院大气所或安徽光机所那样。那时的科学院各个研究所和各个研究室，搞计划的劲头真大。真可说是年年计划，年年规划。每年年初要制订研究计划，年中要检查监督，年底还要总结评比，隔一定时间甚至还要评先进，披红戴花去开庆功大会。但是，Batchelor 教授那里却不搞这一套。他从来不过问属下的研究工作，属下究竟做什么课题，怎么搞法，完全由属下自己做主。他完全相信本系的老师们有这个自觉。他说这些人都是很优秀的，他们知道应该做什么，也知道如何去做，用不着你操心。他曾经告诉过我，系里的老师 Huppert 有一个很出色的工作。他把流体力学上的双扩散理论（Double diffusion）引入于地质学，从而创造出一门崭新的学科——地质流体力学。Batchelor 教授接着说，这个出色的工作完全是出自 Huppert 自己的主动。作为系主任的他则完全没有过问过。题目是 Huppert 自己想出来的，工作也是 Huppert 自己做的，Batchelor 教授并没有给他任何帮助。事实上，虽然他的系里从来不搞我们那种行政性质的制订计划和检查评比，但我在他们那里看到的却是：人人都很自觉，人人都在十分努力十分勤奋地从事自己的研究。他们确实不再需要行政性质的检查监督，甚至我们可以说外来的“计划科研”办法：制订计划，检查监督，总结评比，还可能会把事情搞坏。（这里面当然有一个如何选拔优秀人才的问题，本章最后要讲到这问题）。从 Huppert 的这件事



看，如果系里一定要采取“计划科研”的办法：制订全系的研究规划研究计划，来推动全系的研究工作，倒反而不大可能创造出地质流体力学这样优秀的成果。因为这个问题只存在于 Huppert 自己的脑子里。甚至到底要不要做这工作，应该如何去做，应该在什么时候去做，会在什么时候得到什么样的结果等等，这些问题恐怕在成果出来以前，Huppert 自己都不可能说得很清楚。事实上如果在成果出来以前，能说清楚这些事情的话，制订计划的人马上自己就可以创造出这门新学科，无须 Huppert 再来做工作了。



3 实行学术自由的第二个依据

从事基础科学研究的优秀人才，思想都特别活跃，随时都有可能产生一些新思想。对他们给以最大限度的学术自由，才能有助于保护他们的积极性，有助于发挥他们的才能，有利于科学的发展。这是在基础科学研究领域中，实行学术自由政策的第二个依据。反之如果在这个领域中实行“计划科研”的政策，就像从前我们在经济建设中实行的“计划经济”那样，那就会束缚住他们的手脚，反而会坏事。因为当他们在工作中产生了更好的新想法，从而需要更改原有的做法时，此时若实行的是“计划科研”政策，那就会很难使他们实现新的想法，很难使航道转变航向，那到会起到阻碍科学发展的负面作用。给予他们以最大限度的自由，使他们能够随时可以自由地更改原来的想法和做法，就十分必要了。

当年我在 Batchelor 教授那里刚开始工作时，多分散悬浮粒

子的沉降理论本来并没有列入我们的工作计划。只是在我用他的统计理论成功地求取到了云滴重力碰并过程中，高 Peclet 数下对分布方程的外域解时，他敏锐地看出了这个解对于建立他的多分散悬浮粒子沉降理论的重要性。于是他就果断地修正了我们原来的航道，把它扭转到对我是完全新的建立多分散沉降理论的轨道上去。后来我和 Batchelor 教授果然研制出了，现在已经载入胶体科学发展史册的多分散悬浮粒子的沉降理论，这证明了 Batchelor 教授当年的这一转轨行动是多么英明。这个例子说明，保护科研人员思想活跃的固有特点，使他们的才能得以充分发挥的必要。特别是要保证他们在有更好更新的学术思想产生时，拥有可以随时修正自己航向的自由。这确实是件非常重要的事。

在剑桥这个研究理论物理的机构中还有一个不大的实验室。这是剑桥的理论物理的另一大特色。这一特色是 Batchelor 教授的老师 G. I. Taylor 传下来的传家宝。老 Taylor 不仅是一位理论大师，而且也是一位实验高手。他善于在非常简单的实验设备上，做出水平非常高的科学成果，其中有些已经载入流体力学发展史册，很不简单。现在 Batchelor 教授继承了他的老师这一优良传统，在他所组建的理论物理系里，就仍然保持了这样的一个实验室。不像一般的实验工作多是检验别人的理论正确与否。不！剑桥人的实验工作是要以自己的实验数据来实现自己的理论设想。从而在理论科学发展中，做出自己独特的贡献。有一次，一位在这个实验室里工作的剑桥朋友对我讲，他不喜欢搞那些大型的高精尖实验设备。因为一旦你搞成了这种设备，你的思想就必须固定在这套设备上，既然花了这么多的钱，怎么

能又随便的离开呢？然而在理论物理系工作的剑桥朋友思想都特别活跃，也都和 Batchelor 教授一样，随时都会产生一些很有价值的新思想。所以，他们绝对不愿意把自己的学术思想钉死在一套高精尖设备上。他们既不肯被“计划科研”束缚住，也不肯被昂贵的设备束缚住。幸而简单的实验设备确实可以实现剑桥的实验科学家们的目的，所以在剑桥理论物理系的实验室里，就仍然可以产生十分出色的科学成果。学术自由在剑桥的实验科学家这里是这样实现的，这一经验很值得我们深思。原来出色的科学成果并不一定非要在高精尖设备上产生，少花钱一样可以办大事啊。听说现在搞科研的人，喜欢上一些大工程，大项目：动辄几千万，几个亿，甚至上百亿。国家为此花了这么多钱，却不见出来多少个真正杰出的科学成果，更没见造就出几位真正杰出的科学家，以致钱学森老先生在他逝世以前还发出了他那惊人的“钱学森之问”！这真令人痛心，很值得我们反思。



4　不是一般的学术自由，而是最大限度的学术自由

Batchelor 教授从来不讲一般的学术自由，而是有他自己独特的讲法，那就是：搞基础科学研究的人应该拥有最大限度的学术自由。这充分表现出 Batchelor 教授对从事基础科学事业人们的热爱；对这些优秀人才他具有最大程度的信任。Batchelor 教授相信给予这些科学家们以最大限度的自由，只会对发挥科学家们的才能有利，只会对发展科学事业有利。前面讲过的他

从不干预理论物理系的老师们具体的研究工作，其基础正是建立在他的这一信念之上：在优秀的人才从事科学研究工作之时，应该拥有最大限度的自由。只有让他们拥有最大限度的自由，才有可能发挥出他们最大的智慧和才干，才能使他们做出他们能够研制出的、最好的科学成果。

另一方面，对于他自己课题组里的人，他当然不可能一点都不过问了。即使如此，每当他有新的想法想让题目组去做时，他也绝不是以领导人的身份向下面发指示下命令；而是以一位朋友的身份向你提出他的新建议让你考虑，最后要不要执行他的建议则完全由你自己做主，他从不搞强迫命令。

当我刚到他那里工作时，所遇到的第一个问题就是我原来向他申请的课题是：湍流；而他想要我做的却是悬浮体力学，是以我曾经做过的云的微物理学向他的悬浮体力学靠拢。对于这个问题他不是强行要我放弃我原来申请的课题，而是介绍我先到他们系里的 Hunt 教授那里去谈湍流。然后再由我自己做决定究竟要跟谁做。

当他有了新的做多分散悬浮粒子沉降问题的想法时，他也不是简单地要求我暂停我们原来的决定：用他的统计理论来处理云滴的重力碰并，而是反复地问我是否真的甘心情愿做这个新题目（Are you willing to do this?）。只是在我向他明确地表示了肯定的答复时，他才让我去做这个新题目。

当 Davis 找出了我们原来用 Batchelor 教授的统计理论处理重力碰并中的一个大错误，从而使 Batchelor 教授自己也否定了这一工作时，他允许我提出不同于 Davis 的另一新想法和做法。当我提出了足够分量的不同于 Davis 论证的新结果新数据，从而证

明我的新想法正确后，他又能不固执己见，再度转而虚心地接受我的新建议，使我们这一重力碰并中的新理论新方法得以诞生。

当要 Jeffrey 和 Onishi 参加我们的工作时，他曾向他们提出过两个建议：一是为多分散沉降提供低雷诺数下双球流体动力相互作用的各种数据；另一个建议就是希望他们能参加我当时正在进行的云滴重力碰并理论工作。他着重地向他们动员说：云滴都是球形水滴，是非常美丽非常理想的研究对象，流体力学家在这里大有可为。然而按照 Batchelor 教授的一贯做法，对于要不要接受他的建议，怎样接受他的建议，他把这问题的最后决定权仍然留给了 Jeffrey 和 Onishi 自己，而 Batchelor 教授却绝不做硬性的强制决定，虽然他是这个系和这个课题组的领导。后来，Jeffrey 和 Onishi 的决定果然和 Batchelor 教授原来的建议不同：他们没有参加我的云滴重力碰并工作，至于给多分散沉降提供双球流体力学的数据，他们也不是简单地参加，而是把它发展成一个自己的相当完整的低雷诺数下双球流体动力相互作用下的流体动力学工作，从而形成了这一领域重要的新发展。在这一时期，我们几个人就仍然保持了很愉快的合作关系，大家都结成了很好的朋友。

现在谈 Batchelor 教授给基础科研人员以最大限度的自由的另一个方面。这就是他在20 世纪50 年代在剑桥所建立的应用数学和理论物理系。在建立他这个系时，他不是按照自己的流体力学专业来建立个力学系，更不是建立个流体力学系；事实上他这个系所涉及的专业涵盖了我们科学院的三个所的专业：理论物理所、力学所和数学所。也就是说他这个系，给那些在理

论自然科学领域里工作的人们，以最大限度的自由发展空间。除了经济学里的应用数学和金融领域里的应用数学以外，只要是对自然科学里的应用数学感兴趣的人们就都可以在他这个系里大展才华，成就大业。正是由于他这个指导思想，才在60年代从这个系中培养并造就出了当代又一位理论物理大师——霍金。也正是由于他的这个指导思想，他并不把这个系的流体力学学科大组，搞成是湍流和悬浮体力学的学科大组，从而限制了流体力学其他分支在他这个系里发展。于是才有可能在他这个系里涌现出 Hunt 的非均匀流中烟羽扩散的新理论，Huppert 的地质流体力学新学科，Pedley 的血液循环流体力学，Gill 的地球物理流体力学，Simpson 的重力流等一大批出色的科学成果，虽然他这个系的规模并不大，其规模要比我们科学院理论物理、力学、数学三个所的规模总和要小得多。

此外还应该提一下，他在剑桥建立的是一个“系”，而不是一个“研究所”。这倒是给在这个机构里工作的人们以一个限制，也就是说在这个系里工作的人们不能光搞科研，还必须搞教学。这正是 Batchelor 教授的又一个指导思想。他曾经对我说过，事实已经证明，在大学之外建立的孤立的研究所，对基础科学研究是不行的，即使在大学里建立的研究所也不成功，因为他们不搞教学。很凑巧，在剑桥倒是有个天文研究所，然而在天体物理里做出了杰出成果的霍金，却是出在 Batchelor 教授的理论物理系，而不是出在那个专搞天文学研究的研究所，这其中确有其内在的必然性。我的前半生是在科学院工作专搞科研，后半生是在高校，又搞科研，又搞教学。从中我的体会是：专搞科研时，思路会越搞越窄；反之，又搞科研，又搞教学，



才会保持思路的开阔，教学对科研人员来讲，确是大有好处的负担啊。

5 并非无所作为，而是要用学术的办法推动学术发展

Batchelor 教授有一次接待从中国科学院来的人们的访问。在接待过程中，他曾特别强调地指着系里饮茶大休息室的学术活动大布告牌。他对大家说：在上课期间，如果有哪一天这个布告牌是空白的，那就是我作为这个系的系主任的失职。原来 Batchelor 教授对系里的工作并非无所作为，他的系主任职责原来是在这里。这个大布告牌上写满了这一周系里每天的重要的学术活动。而各个学科大组还有自己的学术活动安排。再小至各个课题组仍然安排有自己的学术小活动。看来这就是 Batchelor 教授治理他这个系的独特的办法，那就是用学术的办法（主要是组织学术活动），来推动系里学术工作的发展。这才是剑桥的系主任的主要职责。他不是像我们那时的科学院，在成果出来前用行政办法“计划科研”来推动科学发展而是有了成果后，组织学术交流来进一步提高系里科研工作的水平，进一步推动系里科研工作的发展。于是他那个系就和我们当时的科学院形成了非常鲜明的对照。我们这里大家都很忙，忙于开各种行政性质的会（现在则又添加了填写各种各样的报表，忙上加忙）；他们那里大家也忙于开会，但绝不是行政性质的会，而是学术报告会。通常一个人每周要参加两次，一是本学科大组（如流体力学学科大组）的报告会，二是本课题组小报告会，忙得很。

再加上在每天工间休息时，大家在系里的饮茶大休息室的随便交谈，以及在工作时间同一课题组的人在各自的办公室里的讨论。这就造成了一个非常浓厚的学术氛围，在这样浓厚的学术氛围中，不可能不产生出色的科学成果。有一次在国内和一位朋友谈起国内科研机构和剑桥那里的对比，那位朋友听了以后说：我们这里是瞎忙，剑桥那里才是忙到点子上了。现在国内有人提出高校要“去行政化”的问题，这很正确，也很必要。与此同时我却以为取代行政化的并不一定是“教授治校”，而是要用学术的办法来推动高校科研的发展，就像剑桥大学那样，否则还不免会是新瓶装旧酒，解决不了问题。

还要讲一下剑桥的学术自由的另一个限制。在 Batchelor 教授这里，在参加系里的学术活动问题上没有“不参加的自由”。他们没有考勤制度，偶尔没到系里来也没人管。但如果你长期不来参加系里的学术活动，他们就会干预。这又是 Batchelor 教授对在本系工作人员的一种“强制”。他只给了本系人员的最大限度的自由，并没有给本系人员以绝对自由。有一次，他对我说：和你们一起来的，来自中国科大的年轻朋友，他好久没到系里来参加学术活动了。请你去问问他是什么原因。如果他认为系里的活动没有意思不感兴趣的话，我准备就收回我们给他提供的办公桌，因为还有别人需要使用这张办公桌呢！我听了以后大吃一惊。赶忙去找到那位年轻朋友，问他是怎么一回事？他听了以后也很吃惊，没想到 Batchelor 教授对参加系里学术活动是如此重视，并且对他这个小人物也是如此的关注。他说：他的导师出差了，不在英国，更不在剑桥，他以为没事了就没去系里。没想到参加系里的学术活动是如此之重要。于

是赶忙到 Batchelor 教授那里去做了检讨，纠正了错误，事情才算了结。

经过这些年的熏陶，我现在对 Batchelor 教授的系里所组织的这些学术活动之重要性，倒是有了一点体会。探讨自然界的奥秘是件非比一般的复杂艰难的工作。一个人的能力有限，你不可能一下子就洞察到你面临的问题的所有秘密，通过参加学术活动才能开阔你的思想，才能集思广益，才能发现你以前看不到的问题。特别是在有不同意见发生时，此时就特别能激活自己的思维，使之处于高度活跃的状态。这时你就必然会千方百计废寝忘食地思考如何应对所面临的挑战，一些更新更好的新想法就会应运而生。当年我和 Davis 之间产生的一场论战，就恰好证明了学术讨论，甚至是学术争论，是推动科学向前发展的强大动力，任何行政措施都不可能产生这样强烈的效果。即便是在饮茶大休息室里的非正式的工间随意交谈，有时也会受益匪浅。美国著名流体力学家 Van Dyke 的名著《流体力学中的微扰方法》就是在一次工间休息时，在饮茶大休息室里由剑桥的朋友们推荐给我的。当时他们了解到我在工作中遇到了一些困难，并且正为此苦恼。他们于是向我推荐了这本书，后来这本书的确帮了我很大的忙，我在剑桥的工作得以成功，此书的功劳功不可没。我由此并感到这本书连同 Batchelor 教授的《流体动力学导论》，这两本书是 20 世纪流体力学最重要的两本。Batchelor 教授的书对流体运动的物理本质分析得很透，而 Van Dyke 的书则是对流体力学中的方法论，做出了一个最好的总结。因而我认为，这两本书的确应该是现代流体力学工作者必读之物。

 6 学术平等

在探索大自然未知世界奥秘的面前，人人平等。绝不可承认这里还有超人，他们可以先知先觉与众不同。在未知的大自然面前，我们认为，这里只能承认大家都处在平等的地位。绝不可承认这里还有上下级之分别。在这里绝不能搞唯权，也不可搞唯上。只有这样做了才能在基础科学事业里，真正实现百家争鸣、百花齐放的繁荣局面，才能够取代行政化，用学术的办法来推动学术工作，从而大大有利于基础科学事业向前发展。

一位美籍教授曾经对我说过，国内的学术活动，通常都把报告人视为老师，把做报告叫做“讲学”。于是报告人和听众之间的关系，就成了某种“师生关系”。然而他说这很不正常，在他们那里就不是这样。他们总是把报告人和听众视为处在同一个水平上，大家只是在交流心得而已。甚至听众可以认为自己的水平更高，我来听你报告目的是来找你的错，帮助你改正错误提高水平。在剑桥正是这样做的。我曾经讲过，Batchelor 教授要求大家在他这个系里，彼此都以名字直呼对方，而不要称职衔，也不要称学衔，包括对他本人也不例外。有事叫他时只需叫他的名字“George!”，而绝不可叫他“Batchelor 教授!”现在看来这正是他要在他的系里营造出一种良好的平等气氛，以便在他的系里能够实现真正的学术自由。在学术活动中，无论是诺贝尔物理奖得主，还是 F. R. S（英国的皇家学会会员，相当于我们的科学院院士），还是普通的一个博士后，甚至是普通的一个博士生，只要你有一得之见，有所创造有所发现，就都可

以被他们请到这里来报告，而且都能受到相同的接待。绝没有等级上的差别。甚至当从外面请来一位诺贝尔物理奖得主来系做报告时，对待也完全一样，绝不会打出大幅标语来欢迎，只是这时来听报告的人会比平常特别多而已。写到这里，我就想起在国内见到过的事。某高校有一次请到一位院士来校作报告，于是在大礼堂上就打出了大幅横标："热烈欢迎某某院士来我校指导并讲学!"好像这位院士真是个大能人，既能"指导"该校的工作，又能给该校师生上课"讲学"，无所不能，高居于众人之上。但从国际正常的情况看，却实在是件可笑而又可叹之事。

 7 用什么标准来选拔人才

Batchelor 教授实行的学术自由政策，并非无限制的自由，而是有一个大前提，那就是：他的最大限度的学术自由，只给予"Good People"（本文开头把此词意译为"优秀的人才"，直译则是"好的人才"），其他人则不给。当然，任何机构在选拔人才时，都要选拔最好的，问题在于用什么标准来选拔。有一次我们曾问过 Batchelor 教授，他用什么标准来选拔人才。我们的问题非常具体：我们问他是否应当看被选拔人的论文的数量，还是质量？质量又应如何看？是否应当看论文是发表在什么水平的刊物上？（那时我们还不知道 SCI 刊物，和刊物的影响因子（即该刊物平均每篇论文每年被 SCI 刊物所引用的次数），否则我们必然也会问到这些问题）。不料 Batchelor 教授对这些问题都不感兴趣，他的回答很简单。他说：我不管你们讲的这些问题。我只关心一点，那就是：被选拔人的工作是否表现出原始创新

精神（即原创精神）。有了这个精神，即使论文不多，发表在不那么重要的刊物上，我也会选他。看来，Batchelor 教授选拔人才的标准跟我们这里的大不相同，真是点到问题的要害了。

现在回想当年他接受了我的申请，而没有接受其他人的申请，确实有他的道理。他说他是看中了我以前做过的云的微物理工作。然而我在云物理上的论文很少。总共才三篇。而翻译成英文的更少，仅有一篇。那就是 1966 年登载在英文版的《中国科学》上的："起伏场的相关时间对云滴随机长大的作用"（这一篇最早是在 1964 年发表在中文版的《气象学报》上）。《中国科学》当年在国内地位还很高，但在国外却不然。虽然它也是 SCI 刊物，但它的影响因子很低，只有零点几，还不到 1。（听说现在有的单位要求论文发表在影响因子高于 2 的刊物上才有可能评上教授。按照这个标准，仅凭这篇论文是没法当教授了。）事实上，英文版的《中国科学》在 Batchelor 教授那个系里，地位也确实不高。他们也订了这个刊物，但是不像其他的学术刊物放在他们的图书资料室里供大家学习参考之用，而我们的英文版《中国科学》却只是放在他们的大饮茶休息室里，供他们在工间休息闲谈时随意翻看一下。可见我们这个国内最高级的学术刊物在他们那里的地位确实不高。然而，Batchelor 教授是看问题的实质，而不看问题的表面。他不管这些却仍然看上了我曾经做过的这一点云的微物理，从而接受了我的申请。其道理究竟何在呢？

在我接受了他的建议后，第一条就是要查找有关的云物理文献。那时我离开云物理已经多年，所以我应该先调研一下，在 60 年代上半叶我离开云物理以后，国际云物理界究竟有什么

新进展。查阅以后却使我产生了一场意外的惊喜。那就是在我们的论文发表以后，它竟然会在国际云物理界引发了一场风波，并且我的文章竟然两度载入国际云物理学的发展史册。一次是在1978年载入由两位美国著名云物理学家Pruppacher和Klett合著的《云和降水的微物理学》；另一次是在1989年载入由另两位美国的著名云物理学家Cotton和Anthes合著的《风暴和云动力学》（这本书在1993年由南京大学大气科学系的叶家东教授等人翻译成中文由气象出版社出版）。

原来，国际云物理界在处理云滴增长过程中，过去都使用确定论型的方法。这个方法假定云滴增长所遇到的环境，都是均匀不变的。于是在云滴的凝结增长过程和重力碰并增长过程中间，就人为地形成了一个不可逾越的“大云滴增长沟”。原有的确定论型的云滴增长理论无法解释：云滴为什么可以在很短的时间内，跨越过这个增长沟，形成雨滴产生阵雨。到了60年代初，由苏联和我国的一些学者突破了均匀不变的增长环境限制，他们考虑了由云中湍流引起的起伏变化的增长环境。于是人为的确定论型的云滴增长，就转化成为自然的随机过程型的云滴增长。他们引入随机过程论来处理这个问题，结果很理想。在这个随机增长过程中，确有很少一部分云滴可以在很短时间内长大成雨滴，问题就解决了，因为雨滴的浓度比云滴的浓度小很多。实测表明，雨滴的浓度只有云滴浓度的百万分之一。所以并不需要所有的云滴全部长大成雨滴。只要有百万分之一这样微小的一部分云滴，碰到了比别的云滴特别有利的环境，一场阵雨就可形成。然而这个结论是过分乐观了。在他们的处理过程中，他们把起伏场的相关系数假定为恒等于1，这就是等

于假定了湍流起伏场的尺度为无穷大，其起伏场的相关时间也就为无穷大，至少是大于几千秒。换句话说，其相关时间是和阵雨形成所需要的时间相同。这显然不符合事实，而且必然是夸大了湍流起伏场的作用。我的工作就是把湍流起伏场实际的结构引入于云滴随机增长的理论中。这样，起伏场的尺度就不再是无穷大，相关时间也就不可能大于几千秒。影响云滴随机长大的起伏场有三个：一个是湍流加速度起伏场；另一个是云中含水量起伏场；第三个则是云中水汽过饱和起伏场。前两个决定了云滴重力碰并过程的快慢，第三个则决定了云滴凝结增长的快慢。Kolmogorov 的湍流局地均匀各向同性理论早已证明云中湍流加速度起伏场的起伏强度，最大可以达到 100%，于是在早期引入随机过程论的学者所假定的：所有云中起伏场的尺度均为无穷大，相关时间可以大于几千秒。在这种情况下，这个湍流加速度起伏场对阵雨的形成贡献最大，它可以极快的速度把一小部分云滴在几千秒内快速长成为雨滴。然而这个论断过分乐观了。这些学者没有注意到，Kolmogorov 的湍流局地均匀各向同性理论同时也证明了，湍流加速度起伏场的尺度非常小，在一般对流云中只有厘米尺度的大小。于是在我的工作中我证明了云滴在这样小的厘米尺度中的相关时间只有千分之一到十分之一秒，比起他们的估计要小 4 ~ 6 个数量级。结果就和那些学者们的过分夸大的乐观估计完全相反，我们的结论是：在这样短的相关时间内，湍流加速度起伏场不可能对云滴的随机增长起任何作用。至于云中含水量起伏场，和云中水汽过饱和起伏场的尺度当然要比湍流加速场大很多，可以用云泡尺度来估计：它们是百米尺度。其相关时间也就要长很多，是几分钟。



可是它们仍然比阵雨形成的时间小一个数量级，所以仍不能直接产生雨滴。但我们的工作证明它却可以使云滴在足够短的时间内跨越“大云滴增长沟”，从而突破了过去的云滴生长理论的瓶颈限制，顺利地产生出足够浓度的大云滴。因此仍然是对云滴随机生长理论的一大贡献。于是，和早期的云滴随机生长理论——“对流暖云起伏降水理论”不同，我们的理论就叫做“对流暖云大云滴的短相关马尔科夫过程生长理论”。

现在讲一下我们的工作在国际云物理界所引发的一场风波。可能是由于我们的工作确实很重要，它们发表以后很快便引来一位在国际云物理界久负盛名的大科学家 Mason 的关注。(此人原来是帝国理工学院的一位教授，我在英国时他已调到英国国家气象局，任该局局长)。他和他的合作者 Jonas，Bartlett 等人，从 1968 年起，先后发表了一系列论文，全盘否定我们的工作。他们并没有否认云滴长大时所遇到的环境存在着起伏。但他们否认起伏的原因是由湍流引起。对此，他们的观点是湍流仅对起伏起混合作用。混合结果必然是消除起伏，使起伏均匀化。所以他们的观点与我们完全相反，我们认为湍流是起伏的“源”，而他们却认为湍流是起伏的“汇”。那么对流云中实际存在的环境起伏是由何而来呢？他们则认为是对流云中上升气流的起伏所引起。这是一种确定论型的起伏，云滴在其中的轨迹是可以计算的。他们假定在云底形成了一组云滴。其滴谱是个单谱。然后云滴在不同大小的上升气流作用下一边上升一边因凝结增长而长大。上升气流大的地方，水汽过饱和度就大一些，此处的云滴就长得快一些；反之则长得慢一些。然而他们的计算结果却证明了，在对流云中各个给定的高度上的云滴谱

仍然是很窄的窄谱，和原来的单谱差不多，没有什么与众不同的大云滴出现。原来，虽然上升气流大的地方，水汽过饱和度大，云滴增长快，但它的上升速度也快，到达某一给定高度的时间就短，所以云滴不会长得很大；反之，遇到上升气流比较小的云滴，虽然那里的水汽过饱和度比较小，增长速度慢，但是它的上升速度比较慢，到达同一给定高度所需时间就比较长，结果就还是长得比较大。总起来看，这个给定的高度上就不会出现很突出的大云滴，使云滴谱展宽。这样，Mason 等人就似乎从“理论”上证明了，对流云中起伏环境，对云滴长大成大云滴没有什么作用。一时间，“西风”就似乎压倒“东风”了。

事情到了 1977 年却发生了转机，产生了又一次一百八十度的大转弯。这个变化还是发生在英国。当时在曼彻斯特大学工作的 Latham 教授做了一个垂直风洞实验。他的实验目的是要检验一下在 Mason 等人和我们之间，究竟谁正确。最后，该风洞的实验数据清楚地表明，与 Mason 等人的论断完全相反，湍流混合并非是“均匀混合”，而是“非均匀混合”！它们就仍会产生大云滴，使云滴谱变宽，这正是湍流非均匀混合作用的结果。1979 年澳大利亚学者 Manton 根据 Latham 教授的实验数据，重新计算了 Mason 等人计算过的那个对流云的例子。结果就与 Mason 等人的完全不同：云中各个高度上的云滴谱就大大地展宽，大云滴终于产生了。这正是引入了湍流非均匀混合的缘故。“东风”就翻了个身，重新压倒了“西风”。

恰在此时，1980 年我到了剑桥的应用数学和理论物理系。系里的 Hunt 教授就代表他们系的流体力学学科大组，邀请我给他们做一个这问题的大报告。当我讲完了我们在云物理方面的

工作和此后在国际上引发的这场风波后，出乎意料，他们不但没有按惯例提出一些问题来质问我要求我解释，反而给我以热烈的掌声。这不是一般礼节性的掌声而是充满激情的热烈掌声。Batchelor 教授指出，这在统计理论方面也是个创新。他说从来的统计理论都是研究统计平均值的问题，这个理论却是要研究小概率的事件。因此，这对于统计理论也是个重要贡献。会后，他追到我的办公室里来，双手握住我的双肩激动地对我说："Splendid! Splendid! （辉煌的！好极了！）"。我终于松了一口气，Batchelor 教授选择了我，总算没有选错。在他和剑桥的朋友们眼里，我大概还可以算是一位"Good People"吧。虽然我在云物理里的英文论文，只有一篇，而且是刊登在影响因子不高他们也确实看不上眼的《中国科学》上！

行文至此，我感到我也没有辜负 Batchelor 教授对我的信任。两年多在剑桥他那里的工作，使我帮助他创建了一个现在已经载入胶体科学发展史册的多分散沉降理论，并且给云滴的重力碰并，贡献了一个统计理论新方法。回国以后，又在他的开创新学科精神鼓舞下，创建了一门新学科——微大气物理学，20 多年来，这新学科现已为国内同行所认可。回顾往事，我确实感到此生不虚，由衷地感到莫大的庆幸和欣慰。

（2011 年 7 月 11 日开始写于南开园，7 月 25 日完成于南开园）

为什么苏联式的科学院不能产生多少诺贝尔科学奖和诺贝尔级的科学成果

1 引子

在展开本章之前，先解释一下什么叫诺贝尔级的科学成果。首先应该指出，在基础科学和应用基础科学之中，除了属于诺贝尔科学奖的少数几个学科外，还存在着广大的不属于诺贝尔科学奖范围的基础科学学科。在这样的学科中如果做出了有突破意义的重大成果，而且这个成果已经得到国际同行的公认，在这门学科的发展中产生了重大影响，那就可以把这种成果称为诺贝尔级的科学成果。在基础科学研究中，通常都把诺贝尔科学奖视为在基础科学研究中取得了非常杰出的成就。但这还很不够，事实上这种理解还存在着很大的局限性。只有把诺贝尔科学奖范围之外的基础科学研究重大成果也包括进来，才能对基础科学的重要性有一个科学的全面的理解。所以我们才在本文的标题中除了诺贝尔科学奖以外，还着重地增加了诺贝尔级的科学成果一词。

河南工业大学的刘广明老师昨天（2011 年 5 月 24 日）在科学网上发表的博文《科学院的“大学化”和大学的“科学院化”》很重要。它引发了一场有关苏联式的科学院问题的讨论。

就此我在网上已经发表了些意见。刘广明老师建议我把这些意见整理出来写成正式的博文发表。接受他的建议于是才有这一章短文。

 2 Batchelor 教授的分析

关于为什么苏联式的科学院不会产生多少诺贝尔科学奖或诺贝尔级的科学成果；以及相反，为什么世界上大多数这样的科学成果却产生在西方研究型的大学之中？对这一问题，已故国际流体力学大师，剑桥大学的 G. K. Batchelor 教授早已做出了颇有说服力的解释。30 年前我曾有幸在他那里进修了两年多，因此就有幸聆听过他的这个教导，借此机会再把他的见解整理出来介绍给各位朋友们参考，可能还会是一件有意义的事吧。

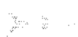
那时我还在科学院工作。时值改革开放的初期，科学院也面临着如何改革的问题。当国门打开以后，大家才发现西方的科研体制和我们的科研体制原来有很大的不同。我们的科研体制原来是照搬苏联的：所有科学研究都集中在科学院，而大学则只管教学不搞科研。但西方却与我们这种苏联体制完全相反。那么现在我们这种体制要不要改，又应该如何改呢？带着这一问题我们来到了剑桥，来到了 G. K. Batchelor 教授的应用数学和理论物理系。Batchelor 教授是国际上一位著名的大科学家，听听他对这一问题有何看法，当是有益的事。于是我们就向他提出了这问题：中国科学院应如何进行改革？对此他很坦率地谈了他的意见。

他说："你们的科学院改起来很难，原因是体制上的问题。

它原是从苏联那里学来的，所以这种体制上的问题实际上也就是苏联科学院体制上的问题。”对于苏联科学院，Batchelor 教授说他曾有过一些了解。在苏联十月革命前，他说那里也曾有过西方式的科学院，亦即是一种荣誉团体，它下面原来是没有科研实体的。十月革命后，苏联政府对它进行了一番改造，把原来分散在各个大学中的科研人员都集中到苏联科学院中来，成为政府机构的一个部分。意图让他们完成政府所面对的各种国家经济建设和国防建设中的重大问题。而原来的各个大学也就成为一种单纯的教学单位。于是苏联科学院的各个研究所就都承担了政府所下达的各项建设任务。对这种有确定目标的任务你可以制订确切的规划和计划，并进而可以进行严密的组织实施，检查监督，直至任务完成，还要进行严格的鉴定。当然西方的科学院没有这些研究实体，它们只是个荣誉机构。在西方这类军事建设任务和经济建设任务是由大公司大企业完成的。事实证明，由大公司大企业来完成这种工作，会更有效率更有创造性，世界上各种经济建设中以及各种军事建设中的新创造新发明，大多都出现在西方的大公司大企业之中。至于科学研究，按照 Batchelor 教授的说法是 Basic Science，按照我们的说法则是基础科学和应用基础科学研究，Batchelor 教授说对这样的学科这类苏联式的科学院的办法则完全行不通。因为基础科学研究的任务是发现新的规律或发现新的现象。这时 Batchelor 教授强调地说你可以发现一个新的规律或发现一个新的现象。但是你完全无法预言你将会在什么时候，发现什么样的新规律或新现象。这也就是说对于基础科学而言，人们是无法规划无法计划的。也就更谈不上去进行严密的组织实施，检查监督了。

苏联科学院的成立原是应该以研究基础科学为主的。但是，Batchelor 教授已经证明，对基础科学研究制定不出确切的目标，制订不出确切的计划，更没有办法去组织实施检查监督。因此，这种科学院其失败也就是必然的了。有鉴于此，Batchelor 教授向我们推荐了西方的做法：就是把这类基础科学研究分散到各个大学中去，科学院只能是一种荣誉性的团体。作为在大学中工作的科研人员，教学是他必须承担的任务。这是可以计划，可以组织，可以检查，可以监督的。另一方面进行基础科学研究却是一种不必由学校硬性规定的，完全由他自己自觉自愿自主进行，虽然也是一种必须完成的任务。Batchelor 教授说，像基础科学研究这种工作，它所要求于人们的是完全自觉自愿的主动性，若没有这种主动性，一切行政办法都是徒劳的。当然，在西方的大学中，对于基础科学研究也不是绝对地放任自流。按照 Batchelor 教授的办法，这就是通过组织高水平高频率的学术活动来推动大学中的基础科学研究。有关这一点，我们还将在下一章中加以介绍。综上所述，人们才可以理解西方的办法能够成功的原因。除此之外，Batchelor 教授还谈到把基础科研放到大学中去的另一个好处：亦即大学中青年人多，他们对新事物最敏感，精力最充沛，这也是在大学中容易出创新性的科研成果的另一个原因。



3　现在的情况和问题

显然，现在的情况已经和 30 年前有很大的不同。无论是科学院，也无论是大学都发生了很多变化。然而最基本的事实，

最基本的问题却很遗憾地仍然没有改变。应该承认我们的科学院，虽然有那么多的一大批科学院院士，虽然有那么多的非常强大的国家代表队，但是我们的情况比起当年的苏联科学院更糟。也就是说我们这里的科学院连一位诺贝尔科学奖也没有产生过，也没有产生过一个诺贝尔级的科学成果。因此重温当年Batchelor教授的这番教导就仍然是很必要的。经过几十年的建设改革和发展，我们伟大的祖国现在已经成为世界上一个现代化的军事强国，一个政治上的强国，和一个现代化的经济强国。然而很遗憾的是，我们现在仍然不能被称作是一个现代化的科学强国。什么时候我们这里能够成批的产生诺贝尔科学奖获得者，什么时候我们这里能够成批的产生诺贝尔级的科学成果，那时，我们才能被称作是一个科学强国。也就是在这个时候，我们的祖国才能够被称为是一个完全的现代化强国。为了能成为一个真正完全的现代化强国，我感到现在已经到了认真地切实地研究并解决，基础科学和应用基础科学科研体制的问题时候了。对此，本章只是一次抛砖引玉，希望能由此引发出更多更好更有效的意见来，那我就会感到十分欣慰。

（2011年5月25初稿定于南开园）

（2011年7月25日再编辑加工于南开园）

要出解决大问题的学术论文，不要出学术垃圾

1　与钱学森之问有关的三个问题

1.1　几家报纸对我国科技界提出的问题

这一章的文字是我在2006年写成的。当时还不知道这些问题是由钱学森之问引发出来的。只是感到这些问题很尖锐很重要，就参加了讨论。于是这些文字就成为我在讨论钱学森之问的第一篇文章。为保持原来的气氛，在把这些文字收入本书时，对于时间状态，我们保持了原来的样子，以下就是原文。

最近一个时期一些报纸对我国科技界提出了一些问题，这些问题很尖锐也很有意义，作为我国科技界的一员，我感到不能置身事外，有必要也来参加讨论，对这些问题贡献一点自己的看法。在讨论前先复述一下这些报纸对我国科技界所提出的三个问题：

第一个问题：为什么我国现在生产出的学术垃圾这么多?

第二个问题：为什么我国现在能出数学奥林匹克冠军，却出不来国际公认的数学大师?

第三个问题：为什么我国到现在还出不来诺贝尔科学奖得主?

在讨论之前，还要把第一个问题中的“学术垃圾”作一番

解释。按原作者的意思，它指的是一种“垃圾”式的学术论文，是一种无足轻重，鸡毛蒜皮，滥竽充数的“学术论文”。至于什么是垃圾式的学术论文，原作者对此也有明确的说法。原作者讲的是：我国现在发表在 SCI 系列刊物上的学术论文数量已经相当可观，据统计位居全世界前 10 名之内，似乎很了不起，但实际却并不如此。原作者接着说，只要用 SCI 刊物对我国的学术论文引用次数来衡量这些学术论文，它们就现原形了。该作者说，按这个标准来衡量，我国的学术论文在全世界的位置就要后退到 120 名以外，也就是说国际学术界没有什么人理睬，没有什么人引用我国的学术论文，说它们是无足轻重的学术垃圾也就不足为怪了。那位作者在报纸上向广大读者们展示的数据很是触目惊心，很有必要把这个问题讨论清楚，其他两个问题也与此有关。很明显，在盛产这种国际上没有什么人理睬的学术垃圾的大气候下，不可能出国际公认的学术大师，更不可能出诺贝尔科学奖得主。所以，我的讨论，也就从这一个问题开始。

1.2 要破除对 SCI 系列科技刊物论文的迷信

一般人总以为列入 SCI 系列科技刊物都是高水平的刊物，发表在 SCI 刊物上的论文，就很了不起。一些单位甚至为此制定了奖励政策，一篇 SCI 论文奖励多少钱。所以，对这些人而言，SCI 论文竟然成为学术垃圾，就成为一件不可思议的事。其实，只要对 SCI 系统作一番深入研究，就会明白此事并不奇怪。原来 SCI 系列的刊物是一个广谱，其水平参差不一，差别可以很大，也就是说它们并不一定都是真正的高水平刊物。对此，

SCI 系统用一个叫做影响因子的量值来考核属于 SCI 系列的各个刊物的真实水平。所谓影响因子是指在考核当年，对该刊物前两年发表的论文被 SCI 系列刊物引用的总次数，再被前两年该刊发表的论文总数去除，也就是说影响因子实际上就是该刊前两年发表的论文，平均每篇论文在考核当年被 SCI 引用的次数。拿这把尺子来衡量，一些所谓高水平的 SCI 系列的刊物就现原形了。我在拙著《创新话旧——谈科学研究中的思想方法》一书中曾举了一个例子，在那个例子中，我们把 2003 年美国物理类的一些著名刊物的影响因子，和我国最著名的刊物，例如也列入了 SCI 系列的各类《中国科学（英文版）》等的影响因子做了个比较，结果是惊人的，两者之间的差距达到一个数量级。美国物理类一些著名刊物的影响因子那年的平均值是 4.249，而我国最高水平的各类《中国科学（英文版）》等刊物那年影响因子的平均值却只有 0.476，也就是说发表在我国最高水平的《中国科学（英文版）》上的论文，平均每篇论文每年被 SCI 系列刊物引用的次数连半次都不到，尽管戴上了 SCI 的桂冠，又有什么用呢？在国际上，仍然是没有什么人理睬的学术垃圾而已。所以，现在已到了非破除对 SCI 论文的迷信的时候不可了。

1.3 呼唤着科技界的世界冠军

一个时期以来，大家都在那里比出 SCI 论文的多少，报纸上常有人做各单位 SCI 论文数量的排行榜，谁的 SCI 论文最多，谁就是第一，科研成绩就最大，排在后面的，就很不好受，压力就很大，人们就想尽了办法使本单位的 SCI 论文数增加。于

是，出SCI论文就给奖金的办法出炉了，用SCI的数量来考核教授、来评职称、评博导、评学位的措施出来了，一些人甚至提出了宁要一年磨十剑，也不要十年磨一剑的口号，还有的人谈起自己的科研成绩时，也常常以有几百篇论文而沾沾自喜。结果怎么样呢，如前所述，尽管戴上了SCI的桂冠，却仍然是一堆学术垃圾而已。事实上，科研成绩的大小，从来就不是以论文多少来衡量用论文多少，包括用SCI论文的多少来衡量科研成绩大小，是对科研工作的蒙昧，是对科学研究的无知。因为，你尽可以有几百篇甚至上千篇SCI论文，那也拿不到诺贝尔科学奖，如果它们是没有人理睬的学术垃圾。相反，如果你的论文解决了学科上的大问题，克服了大困难，形成了大突破，在国际上有了大影响，那即使你只有一篇论文，也可以夺得你这个领域中的世界冠军。我们的国家需要这个，我们的人民需要这个。可惜这样的论文在我国是太少了。但对国际公认的学术大师而言，这样的事例却是屡见不鲜。作为一位国际公认的学术大师，他必然是在他那个学科领域中克服了大困难，解决了一些大问题，从而赢得了大家的尊敬，而决不会是因为他有几百篇上千篇论文的结果。当代国际流体力学大师剑桥大学的Batchelor教授，他1972年提出的单分散悬浮粒子沉降的统计理论，解决了著名的沉降积分中的积分发散大难题，自19世纪同样在剑桥大学工作的国际流体力学大师Stokes在1851年创造出孤粒子沉降的理论公式后120多年以来，人类第一次从Batchelor这里得到了在多粒子相互作用下严格的粒子群体平均沉降的统计理论公式，因而被国际同行公认是20世纪流体力学最重要的成果之一，30多年来它已经为实验科学家的实验所多次证实，

到现在它已成为这个领域国际同行经常要引用的经典理论，但它却仅仅只一篇论文。当代更早一点另一位国际流体力学大师德国的 Prandtl 教授，他 1904 年的边界层理论，解决了黏性流体力学发展史中长期未能解决的达朗贝尔之谜，因而被国际流体力学界公认是 20 世纪流体力学划时代的成就，但它也只有一篇论文。有趣的是，那还不是一篇正式论文，更谈不上是 SCI 论文，事实上它只是一篇会议论文，发表在海德堡第三届国际数学会议论文集上。这两件事要是发生在我们这里，Batchelor 凭他那一篇论文，Prandtl 凭他那半篇论文，肯定他们连个教授职称都拿不到，又怎么可能被大家尊为当代的国际流体力学大师呢？可见以论文篇数来定科研成绩大小，来决定一个人学术水平的高低是多么不可取的事，这种错误倾向如果再不下决心把它彻底纠正，就必然会延误我国科学事业的进一步迅速发展。我国体育健儿早已把“东亚病夫”的帽子远远地抛在后边，在相当多的体育项目中大量地夺得世界冠军，他们无愧是中华民族的优秀儿女。难道我国的科学研究工作者对于夺取科学事业各个领域中的世界冠军问题，还可以无动于衷裹足不前吗？

1.4 要付出代价

要想出世界冠军式的论文，就要付出代价，就要敢于抓大问题。众所周知，越是大问题，难度就越大，就越要付出更多的心血，花更长的时间，搞这样的问题风险就更大，甚至有可能失败。历史已经证明，这种论文不可能一年出好几篇，相反，常常是几年才能出一篇。显然，在一年磨十剑的大气候下，不

可能期望在我们这里有很多世界冠军式的论文出现。Batchelor在1972年出的那篇世界冠军式的论文是他花了多大代价才做出来的，我们不知道。那时我国还处在闭关锁国时代，而且还正处在“文化大革命”的混乱时期，所以不可能对国际学术界的内情有所了解。但是他10年后，也就是在1982年发表的又一篇世界冠军式的论文，即多分散悬浮粒子沉降的统计理论，很巧，这一次刚好被我赶上了。那时，我国邓小平开辟的改革开放时代刚刚开始，这使我有机会到达剑桥师从Batchelor教授在他那里进修。因而能有幸亲身参加了Batchelor教授在悬浮粒子沉降领域中的这第二个大工程，才能使我体会到一篇世界冠军式的论文，它的产生是如何的艰辛。这篇论文是我们两个人花了两年时间才得到的结果。实际上，还不止两人，这个工作所需要的基础数据，即双球流体动力相互作用下低雷诺数流体力学数据，是由当时还在剑桥工作的Jeffrey和大西善元（Onishil）两人提供的，所以它实际上是由四个人整整花了两年紧张的工作量才得到的成果。在这两年中，我们三人在Batchelor教授的领导下花费了大量的心血，工作量非常庞大，加之Batchelor教授要求非常严格，致使工作改了多遍，精益求精，务使其结果正确可靠，能经得住国际同行的实践检验。此外还应指出，这个多分散悬浮粒子沉降的统计理论，实际开始得更早，那是在1976年，Batchelor教授第一次发表论文，公开讨论多分散悬浮粒子沉降，如果从这年算起，就花了6年时间。用了这么多的人，花了这么长的时间，才得到这么一篇多分散悬浮粒子沉降论文，看起来是太慢了，似乎不值得这么干，特别是在一年磨十剑的压力之下，干这种事是会被人讥笑为傻瓜。然而它却是

悬浮粒子沉降领域中又一次重要的突破性进展，它解决了悬浮粒子沉降的统计理论中第二个人类还没有解决的大难题，即沉降积分中的粒子对统计结构求解的难题。由于我们成功地解决了这个难题，完整的悬浮粒子沉降的统计理论才得以最后完成，20多年来它至少已经两次通过了实验科学家的实验检验，并且和 Batchelor 教授 1972 年单分散沉降论文一起，现在已经载入国际胶体科学发展史册，成为这一领域中国际同行要经常引用的又一个经典理论。由此可见，花这样大的代价是完全值得的。再举一个例子，爱因斯坦的相对论是他花了多年的时间（有材料说，共用了 10 年）才得到的成果，然而这一成果却是物理学发展史中的一个里程碑，它标志着物理学从此就从经典物理发展到现代物理的新阶段，并使爱因斯坦本人成为科学史中可以和牛顿相并列的科学巨人。此外，在文学著作上也莫不如此，曹雪芹的《红楼梦》共花了他 10 年时间，在这 10 年中，他精益求精，对书稿删改多遍，直到他泪尽而逝，憾而未能完成这部巨著，然而这部未完成的巨著却使他成为不朽。以上这些例子，无不说明在一年磨十剑的大气候下，不肯花费大量心血，不想花费足够长的时间，不肯付出足够多的代价，是不可能解决前人所未能解决的大问题，从而就不可能做出世界冠军式的论文，也不可能写出世界冠军式的著作。

1.5 种瓜得瓜

爱因斯坦的相对论是他在专利局工作时做出来的。他大学毕业时并没能留在高校工作，而是去了专利局。对于这种处境，他却感到是件好事。他说，若是留在高校工作，就会有出论文

的压力，就不免会沦于浅薄。而在专利局工作，没有出论文的压力，专利局的本职工作又不需要花费他很大力气，于是他才可以几年如一日地集中精力去钻研他的大问题——相对论，才有可能最后得到震动世界的大成果。爱因斯坦所说的，在出论文的压力下做出的论文，必然会沦于浅薄，这个论断，现在我们中国得到了证实。我国现在大量生产垃圾式的学术论文，正是出论文的压力压倒一切情况下得到的恶果。原来，出科学论文不同于一般人写文章，更不是中学生上作文课，它只是科学研究工作者研究科学问题，解决科学问题的最后结果的一种表现形式。然而科学问题有大有小。现代科学事业的发展，虽已进入了知识爆炸的时代，虽然人类现有的知识已经取得了辉煌的成就，获得极大的成功并极大地改变了人类社会的面貌，但是人类现有知识所未能触及的未知世界，却仍然是茫茫大海，无边无际。所以可供研究的科学问题就非常之多，大大小小，数不胜数。于是在科学工作者面前，一个首要的问题，就是选题。你究竟要选什么问题来研究：是选一些大问题，还是要选一些小问题来做？这是摆在每一个科学工作者面前的头等大事。众所周知，越是大问题，难度就越大，解决起来就要花更多的心血，费更长的时间，甚至有可能失败，于是，在出论文的压力压倒一切的环境下，就不会有多少人选这种问题。另一方面，问题越小，难度就越小，花费的心血和时间就越少，出文章就越快。种瓜得瓜，种豆得豆，在出论文的压力压倒一切的大气候下，实际上就是鼓励人们去选小一点的问题，去选鸡毛蒜皮式的问题去做。盛产浅薄的文章，盛产学术垃圾，出不来国际学术大师，出不来诺贝尔科学奖得主，就是必然的

结果。

1.6 用学术的办法推动基础科学和应用基础科学发展

我们的学术工作中，行政干预是太多了，这不利学术工作的发展。用论文的数量来衡量科研成绩大小，正是行政干预的一种表现。前面已经说过，科研成绩大小根本不能用论文多少来衡量，衡量科研成绩大小的标准，只能是论文的质量、论文的水平。那么，究竟应如何来看论文的质量和水平？我们认为只有两条标准：一要看所解决的科学问题有无意义，以及意义的大小；二要看解决的方法和得到的结果是否正确，是否可靠。而这两条标准都无法用行政的办法来决定，即使用量化的方法也不行，包括影响因子。现在人们已经开始重视影响因子了，这是一个很大的进步，它比单纯看 SCI 论文数量好得多，因为它实际上是还要看论文被引用的情况。但是我感到，对这件事仍然要小心，特别是不要把这一指标绝对化。事实上，发表在影响因子高的刊物上的论文，不一定每一篇论文水平都高。反之，发表在影响因子底的刊物上的论文，不一定每一篇的水平都低。20 世纪 60 年代初，我在云的微物理上做出了一个理论成果，由于它解决了当时云的微物理中一大难题，因而引起国际同行们的浓厚兴趣。几十年来，国际同行用了各种方法来检验这个理论，最后终于得到国际同行的认可，并两次为国际云物理中很有影响的两本专著所引用。很明显，这应该算作是一篇质量较高的论文。然而它却只发表在影响因子很低的《中国科学（英文版）》上，可见，仅由刊物的影响因子来定文章水平高低，同样会犯错误。具体文章还要具体分析。那么不是由刊物

的引用次数，而是由文章本身的引用次数，特别是SCI刊物的引用次数来决定论文高低，是否可行？这个问题也要慎重考虑，这当然比单纯看刊物的被引用次数又进了一大步，但是我以为具体问题仍然要具体分析，不能一概而论。从根本上说，引用情况同样不能单纯地量化了事。首要的问题仍然是引用的性质，而性质问题则是不可以量化的。引用性质的问题包括很多方面。例如，是SCI刊物的引用，还是非SCI刊物的引用；是影响因子大的SCI刊物引用，还是影响因子小的SCI刊物引用；更进一步，还应追问是刊物引用，还是专著的引用；是一般专著的引用，还是国际上有重要影响的专著的引用，后者特别重要，其意义远大于SCI刊物的引用，而这又是影响因子所无法反映的，因为影响因子本来就不包括专著引用。一本在国际上有重要影响的某一学科领域的专著，实际就是这一学科发展历程的精彩总结。能够列入这种专著之中的论文，自然不会是一般性质的论文，它必然是经过多次筛选，优中选优的结果。只有那些已被国际同行的实践证明对该学科的发展确实具有特别重要意义的文章才能入选。所以这种专著的引用，其意义自然要远大于一般刊物引用，包括SCI刊物的引用。最后，在各类引用中还有一个关键问题，那就是要追究某一个引用究竟是有决定意义的引用，还是非决定意义的引用？至于什么是具有决定意义的引用，什么是非决定意义上的引用？我们且举一个诺贝尔物理奖的例子来说明。有人曾在报上宣称，引用次数只要达到上千次，就可以夺得诺贝尔奖。可事实并非如此。曾在报纸上看到我国的某位院士论文被引用次数达到了一千次，但是并没有听说他拿到了诺贝尔奖。相反，李政道和杨振宁的宇称不守恒理

论之所以能拿到诺贝尔奖❶，是因为有了吴健雄实验的证明。吴健雄的实验证明就是对李杨理论具有决定意义的引用。就这一次的引用，比那上千次的不具决定意义的引用更能说明问题。从李杨理论的发表，到他们夺得诺贝尔物理奖时间并不长（好像是几年），估算起来也不可能有上千次的引用（注：我所见到的物理类刊物最大的影响因子是八点几，最大的化学类刊物影响因子是九点几），所以每篇论文每年在SCI上的引用能达到10次就很不简单了，凭这个速度要有100年才会有上千次的引用。反之，比如一定要在两年内达到有上千次的SCI引用，那势必每年的SCI引用达到500次才行，而从现有的影响因子的数据看，这是不大可能的。（温注——2006.12.19）。所以，一方面应该肯定，要追究论文的被引用情况，这自然比单纯的去比论文多少进了一大步，但是仍然要小心，这里更重要的依然是引用性质，而非引用次数。在这个问题上，行政的干预，即使用量化了的引用标准来干预，也仍是不可取的，它还是会引导我们的科学事业走上歧途，无法产生国际学术大师，更无法产生诺贝尔科学奖得主。

---

❶（所谓宇称守恒定律是：）关于微观粒子体系的运动或变化规律具有左右对称性的定律。即微观粒子体系发生某种变化过程（如核反应、基本粒子的产生和衰变等）前的总宇称（其值为+1或-1）必须等于变化后的总宇称。其物理意义是：粒子体系和它的“镜像粒子”体系的运动都遵从同样的规律。长期以来宇称守恒定律和实验相符。因此曾为人们所公认。直到1956年，李政道和杨振宁首先从理论上证明，其后并由吴健雄在实验上证实：至少在基本粒子的弱相互作用范围内，宇称并不守恒，从而证明了宇称守恒定律并不普遍适用。（随后，李政道和杨振宁并为此得到诺贝尔物理奖）。

（以上加注转引自1980年第1版，1982年第2次印刷的《辞海》之第999页上的，“宇称守恒定律”条目。开头和结尾括号内的文字则是作者加上去的。）

以上列举的种种例子，完全可以看出用行政干预办法去推动科学发展的不成功之处。用行政办法去比论文多少不行，去比引用次数多少也不行，那么出路何在？究竟要怎样才能考察出一个工作的意义大小和真伪对错？答案只有一个，那就是把问题交回给有关的学术界自己去解决。唯一可行的办法就是：依靠在有关学术界内，有计划地去推动去组织制度化的国内外高水平的、高质量的、高频率的学术交流，学术讨论和学术争论。在平等的热烈而尖锐的不同的学术思想交锋之中，去激发新的更优秀的学术思想的诞生，去辨别一个科学工作的意义大小和真伪对错，去考核一个科研工作者的真实水平，去发现去锻炼出新的更为优秀的人才，同时也是淘汰不称职的科研人员最公正最好的办法。这样，用组织学术活动的办法去推动基础科学和应用基础科学的发展，它可以取代行政干预的办法，在科学上取得更大的成功。这方面国际上已经有了许多很成功的事例，我在拙著《创新话旧——谈科学研究中的思想方法》一书中，曾举过两个例子：第一个例子是20世纪上半叶美国著名的数学家维纳。他正是通过在一个跨学科的集体中，长时期地组织这种类型的学术活动，才最后创造出一门意义重大影响深远的新学科——控制论，他本人也就成为这门重大的新兴学科的创始人；第二个例子是在20世纪下半叶，Batchelor 教授在剑桥大学所建立的应用数学和理论物理系。在二次世界大战以后，Batchelor 从澳大利亚来到了剑桥的 Cavendish 实验室（剑桥大学的物理系），师从当时的国际流体力学大师 G. I. Taylor，并从他那里得到了博士学位，之后又留在了剑桥工作。在20世纪50年代末（1959年），在学校的支持下，他成功地把 Cavendish 实验



室的理论组分离出来，再加上其他系里有共同兴趣的人，组建成了剑桥的应用数学和理论物理系，他本人就成为这个系的创始人兼系主任连任五届一直到80年代他退休为止。近半个世纪来这个系以Batchelor主任为首的各级负责人，正是把组织这种类型的学术活动当做各级领导的基本职责，而非其他的行政工作（有一次，Batchelor对我们谈起行政管理的事，他说，行政管理的班子要精干，不要很多人，就他们这个系而言，行政管理工作主要由他的秘书一个人管，负责全系的经费监督和结算等，而他们这些负责人则主要管组织系里的学术活动，他接着指着系里饮茶室大厅墙上挂的大布告牌让我们看，那上面从星期一到星期五，从上午到下午，写满了系里重要的学术活动，除此以外，各个课题组自己还有自己的小安排，然后Batchelor对我们说，在上课期间，如果有哪一周这个布告牌是空白，那就是他作为系主任的失职。），这才使这个系的老师们长年累月地处在高水平的各种国际会议之中，处在不同的学术思想激烈而尖锐的交锋之中，才能够在这种浓厚的学术氛围中成功地产生出当代国际物理学界最有影响力的理论物理大师霍金（Hawking）是在1966年在这个系里拿到了博士学位，并留在这个系工作一直到现在，Batchelor本人也成为当代国际公认的流体力学大师。这种成功的经验是很值得我们借鉴和学习的。至于行政方面的工作，则应该是为这样的学术活动创造出良好的物质条件和宽松的精神环境。在这方面目前最重要的是两条：认真贯彻执行党的“百花齐放，百家争鸣”双百方针，发扬学术民主，鼓励百家争鸣。另一条是，创造宽松的学术环境，解放思想，鼓励学术上的大胆的自由思想，以利新的更为杰出的创新思想

涌现。温家宝总理最近在《同文学艺术家谈心》一文中讲到了贯彻执行党的双百方针问题，他的这篇文章，把双百方针讲得很好，很全面，很透彻。在这一篇文章中，他把双百方针提到了很高的高度，认为这是党在文学艺术和科学技术两方面工作的根本方针（见2006年11月29日的《今晚报》）。这很重要，实际上从本文前面的论述中就可以看出，有计划地组织好高水平、高质量、高频率的国内国外学术交流活动、学术争鸣活动，就是贯彻执行双百方针的一个很好的形式，是培养和锻炼世界冠军式的学术大师的必由之路，而这种学术活动的基础一是要有学术民主，二是要有学术自由，否则，就不会有真正高质量和高水平的学术交流活动，就会使学术活动流于形式，收不到它应该达到的效果，但恰恰是在这两方面，我们和国际科技界相比还有相当大的差距，需要下大力来解决。

（初稿写成于2006年11月30日。本文从当年10月开始写起，中间还要除去到合肥等地出差活动前后一个月，真正花的时间约为一个月）

1.7 后记

后记1　我每天在校园里散步两次，每次40~50分钟左右。在散步途中总要路过学校在化学楼后设立的报栏。不免就在那里停留一会儿，浏览一下当天的各大报纸。有关科技方面的信息和报道常会吸引了我，就会多看一会儿。本文所谈的三个问题，其来源均出自于此。又因是在散步途中，所以不会对这些新闻做笔记，有些事情也就记得不那么准确，包括这些问题究竟是出自哪家报纸。总起来有科技报道的多半出自《光明日

报》、《上海文汇报》、《中国青年报》、《参考消息》等。本文第一句话所讲的“一些报纸”即指的以上这些报纸。但是，本文所谈的第一个问题，即学术垃圾问题，我还有比较清楚的印象，记得似乎是《中国青年报》上的文章，因为这家报纸谈问题常比其他报纸来得更尖锐一些，所以在文内才大致提了一下它的源头。而另外两个问题，就无法指出其确切源头究竟是哪一家报纸了。由于我自己还订有《参考消息》和《今晚报》，所以来自这两家报纸的信息，那就可以给出其确切的来源（2006 年 12 月 21 日）。

后记2　今天散步时，在报栏上看到了一条好消息。又是发表在《中国青年报》上。在它今天的第一版上报道了山东大学青年科学家王小云的事迹。原来她从 1996 年开始用了 8 年时间钻研了破译密码的问题。她把她的目标锁定在破译当今世界上最安全的密码，也就是破译难度最大的密码上，而这个密码则是由当代国际密码学权威，一位美国科学家发明的。功夫不负苦心人，王小云经过 8 年的艰苦探索终于在 2004 年取得成功。当她在有关的国际会议上报告了她的研究成果后，就引起了一场轰动，并当场使那位权威心服口服，虽然这位权威也承认他所发明的密码被人破译并不好受。不过这些美国科学家很快又发明出一种新的难度更大的密码，并命名为白宫密码，意思是说这才是最高级的即总统级的密码，它才是真正最安全的甚至可能是不可破译的密码，然而它现在又被王小云给破译了。看来，王小云已取代了那位美国科学家，成了一位新的国际密码学权威，很了不起。有趣的是，《中国青年报》的报道还指出，

从1996年到2004年这8年中，王小云总共只出了这一篇论文。当然，很明显这是一篇世界冠军式的论文。这再一次证明本文的论断，即这种论文不可能一年出几篇，而只能几年才出一篇。20世纪90年代还是出论文的压力压倒一切的时代，王小云在这种大气候下，是怎样才顶住了出论文的压力，不顾她8年之中没有一篇论文，而能不受其干扰地专心致志地钻研她的大问题，以及山东大学又是怎样支持她顶住出论文的压力，才导致王小云可以在山东大学最终拿到国际密码学的世界冠军，这些经验十分宝贵，还有待进一步总结。下大力气总结并推广这些经验，我们的科技界才有可能涌现出更多的国际科技界的世界冠军，才有可能出国际公认的学术大师，才有可能出诺贝尔科学奖得主。（2006年12月21日）

后记3　温家宝总理的那篇文章还提到了他曾和钱学森老先生的一次谈话。在那次谈话中，钱老向温总理提出了一个问题：为什么我国到现在还培养不出杰出的人才？温总理现在又把钱老的这一问题通过在报纸上发表的这篇文章，摆到我国科技界和教育界广大人员的面前，希望引起大家的注意，一起来解决这个大问题。看来，本文提到的一些报纸对我国科技界提出的三个问题，显然是和钱老的这一个问题有关，是试图解决这个问题的一些努力。我的这篇文字也就可以算是对钱老的问题的一份答卷，这份答卷是否可以及格，是否还有错误和不当之处，欢迎大家批评指出。（2006年12月25日记于南开园）

（2011年7月26日再加工并编辑于南开园）

2 再谈这三个问题

2.1 引言

前一节成文后，当时曾通过电邮方式发给了一些朋友。从反馈回来的信息看这篇文章还可以。朋友们说：该文说得好！大家看了文章后，都有同感；说文章击中了当前科技界的要害。还有的朋友说：中国人的脑子并不笨，我国相当多的中小学生在国际数学奥林匹克竞赛中能够包揽金牌，那为什么在科技界还产生不出国际公认的学术大师和诺贝尔科学奖得主呢？这问题确实值得有关科技界的深思。而该文，在这问题上作了有益的探讨，方向值得肯定。并且还肯定该文提出的，要减少行政干预，改为用学术方法来推动学术发展，是个好想法，也打中了当前科技界的要害。此外，该文提出的山东大学青年科学家王小云的成功事例，也值得有关方面深入总结这一经验加以推广，以改善我国科技界的现状。所有以上反映，都是对我的鼓励。通过大家的回信，还使我知道了许多过去我所不知道的事情，了解到一些更为严重的问题，扩大了我的眼界，在此，对朋友们的热心支持和帮助，谨表示深切的谢意。当然，该文也存在缺点和不足，在肯定该文成功方面的同时，一些朋友也提出了一些意见，比如该文关于学术垃圾的提法是否妥当？是否打击了一大片？十年磨一剑的主张是否现实可行？以及当前广为流行的用论文数量来考核教授、评职称、评学位的措施和制度，是否应该率先改革？又应如何改革？等等。以上意见都很

好，都促使我对这些问题做更深入的思考，现把再思考的结果，写成这篇文字向大家报告，欢迎大家进一步批评指正。

2.2 三个局限性

写这篇文章，并不是因为自己有多高的觉悟，对国家大事有多关心。相反，我倒是有点私心。2003 年从第一线上退下来后，颐养天年就是我主要的任务。但我觉得单纯地养，对我并不是最好的办法。针对我的情况，总要写点东西才好。写点东西和朋友们交流交流，谈谈心，解解闷，会使身心更加愉快，有益养生。当然，如果真的这些文章能够在改善科技界的现状起到一点作用，我也会感到欣慰。但是，由于年龄和身体状况的限制，我现在已不可能搞很大的工作量和很紧张的日程安排，做很全面的调查研究，写成很正规很完整的论文。于是用回忆录并混合以议论文的体裁来写，以总结过去我个人的研究经验和体会感悟为主，就成为我写东西的主流。2005 年成书的《创新话旧——谈科学研究中的思想方法问题》是这种尝试的第一个成果，它是从思想方法角度入手，对我过去研究经验的一次总结。这次是第二回。我想通过读报有感的形式，从科研的组织管理角度出发，对我以往的研究经验和体会感悟做一次再总结。但这就产生了以下三个局限性。

（1）学科上的局限性。科技概念是个广谱：往大里说，可分科学与技术两大类。科学又可分为基础科学（包括应用基础）和应用科学两类；技术又可分为一般工程技术和高技术。还可以再分，比如基础科学又可分为理论科学和实验科学两类等等。一个人不大可能是全才，所有科技问题他全懂，恐怕不会有这



样的人。就我而言，我这辈子从事的是基础科学，更确切地说是从事应用基础科学中的理论工作。这就形成了第一个局限性，我所谈的仅能适用于基础科学和应用基础科学中的理论工作，不能无条件地推广到科技界的其他部分。其实，就基础和应用基础的理论工作而言，我也有局限性，即仅局限于我搞过的一点大气物理和在剑桥学到的一点流体力学和悬浮体力学。

（2）第二个局限性。组织机构上的局限性。我一生都是在国家级的研究机构和国家级的研究型大学中工作。大学毕业后，先是在中国科学院大气物理研究所，然后是中国科学院安徽光学精密机械研究所，最后是在南开大学物理系理论物理教研室。所以所谈的问题和意见就有第二个局限性。不能无条件地把该文中的意见，推广到应用型大学和研究机构，也不能无条件地推广到地方院校和研究机构中去。

（3）第三个局限性。地位和身份上的局限性。我这一辈子什么官也没有当过：无论是大官还是小官，无论是行政官还是学术官，都和我无缘，始终是一介布衣。所以我只有被管理的经验，而无管理人的经验。然而现在要谈的是科研组织管理，以被管理的身份来谈管理方面的问题，自然就会有局限性和片面性了。所以我实在不知道所谈意见能否有些参考作用，如果有关领导真的认为，我这些文章确实还有点参考价值，那自然我也会十分欣慰。

2.3 学术垃圾，学术大师，诺贝尔科学奖得主

这几个概念都是原来报纸上的作者所讲，我只不过把它们接受下来加以讨论。然而现在产生了问题，特别是学术垃圾问

题，所以有再分析的必要。以下分别加以讨论。

（1）学术垃圾。这问题本是《中国青年报》上那位作者提的。他讲的是我国在SCI系列刊物上发表的论文。他说："虽然我国现在SCI论文数量很多，在全世界排名在前10名以内，但被SCI引用次数却很糟糕，在全世界排名在120名以外。"因此该文作者把这些没有什么人引用的SCI论文称之为学术垃圾。这是否妥当？作为批判以SCI论文数量为荣的错误思潮而言，我以为可以。因为发表SCI论文绝不是目的。前些时候一些人大搞以SCI论文数量多少来进行排队，大张旗鼓地在报上公布排行榜，这就把发表SCI论文当成目的了。显然它完全错误，它把人们的努力方向引向歧途。现在青年报的作者站出来，提出要对SCI论文进行分析，不能盲目地认为只要一上SCI就是高级论文，进而他提出应该用SCI引用与否，引用多少为衡量SCI论文好坏的主要标准。这很正确，也符合我的一贯看法。记得从前在岗时，学校在考核A1岗教授政策中定了一条，每年A1岗教授要出一篇SCI论文，我当时就不同意，并且针锋相对地提出，正确的做法应该是要求A1岗教授每年应能检索出一篇SCI引用你的工作的论文。当时有朋友对我这个办法有意见，说这太难了，不应列入考核标准。但我却坚持，而且以后每年到了考核时，我自己总是照此行事，而且总能从SCI系统中检索出几篇SCI引用我的工作的论文来。那时候，还不知道影响因子这回事，更不知道一般情况下，影响因子有多大，现在知道了，才晓得每年都能检索出几篇SCI引用文章，确实不简单。那为什么要重视SCI的引用呢？这应该从SCI论文的性质谈起。所谓SCI论文实际主要就是基础科学和应用基础科学的论文。



而基础科学和应用基础科学研究目的，是要发现自然界新的现象，提出新的自然科学学说，建立新的自然科学理论。然而自然界的现象十分复杂，一个人的智慧总有局限性，因此，究竟你发现的新现象是否为真，你建立的新理论是否正确，不能自己说了算，还要接受大家的检验才行；另一方面自然界的规律又应能普遍适用，而不应有国界限制，所以基础科学和应用基础科学的研究成果，所发现的新现象和所建立的新的理论，它究竟有没有意义？正确与否？这个根本问题不仅要接受国内同行的检验，还必须通过国际同行的实践检验才能解决。只有那些经受住国际同行的实践检验并得到承认的新现象新学说和新理论，才能成为他那个学科领域的新的世界冠军。而英语已是国际科学界普遍接受的国际交流语言，这是历史发展的结果，SCI 是国际科学界交流和竞争的一个重要平台，这也是历史所形成的，我们只有参加进去而没有必要独树一帜。由此可见 SCI 引用的重要了。SCI 引用正是国际同行用实践检验你发现的新现象和你的新理论一种方式，正是一种公平竞争的过程。如果一个成果拿到 SCI 平台上后，根本没有人理睬，没有人会把你视为竞争对手，等于你已经被淘汰了，国家所需要的在基础科学领域和应用基础科学领域的金牌就无从到手，这对我们中华民族在科学事业上的伟大复兴，显然有害。而前一时期大搞 SCI 论文数量的排行榜，置引用问题于不顾，致使一些人掀起了一股单纯追求 SCI 论文数量的热潮，他们总是以自己有几篇 SCI 论文而沾沾自喜，洋洋自得，自以为了不起。对此，青年报那位作者用学术垃圾一语，来回击这股错误思潮，对怀有这样的错误思想的人们，确是一剂猛药。这是向他们大喝一声说：朋友

们，你们错了！你们那些在国际上没有人理睬的 SCI 论文它们实在没什么了不起，至多它们只不过是一堆垃圾而已。显然垃圾一语对那股错误思潮是一个很及时的清醒剂，正是在这个意义上，我同意并接受了学术垃圾的提法，并在前一节文字中加以进一步的分析和批判。当然，对广大的 SCI 论文的作者也应分析，不能不分青红皂白都一棍子打死。有些 SCI 论文的作者，他们并没有仅以几篇 SCI 论文而沾沾自喜，他们本来是要诚心诚意地参加国际科学界的竞争，只是由于水平限制而没有得到国际同行的引用，无法在竞争中取胜。对于这样的朋友当然不可以采取打击扣帽子的方法，而要采取帮助的态度，鼓励的办法，去支持他们进一步提高自己的水平，再接再厉，争取最后能抢占制高点，夺取金牌。此外，还有一个问题，就是中文刊物问题。由于这里强调了 SCI 的引用，那就可能产生一个疑问，即按照这个标准，一切中文刊物中文论文，它们不可能被 SCI 引用，岂不都成了垃圾刊物，垃圾论文？对此应该再多说几句。改革开放至今已近 30 年，据我了解目前我国大部分基础科学和应用基础科学各学科的刊物，都有了英文版，用以和国际接轨，参与国际竞争。在现时还仅仅出中文版的刊物，可能大多是应用型的，或工程型的，或地方出的刊物。对应用型的论文，工程型的和地方型的论文，显然不应该以 SCI 的引用为标准去评判它们的好坏和水平高低。这些论文的水平高低，显然应以是否解决了国家和地方的经济建设，国防建设，社会发展中的实际问题来衡量。解决了实际问题的就是好文章；解决得好，使国家和地方受益大的就是高水平的文章，硬要用 SCI 的引用标准去衡量它们，则完全错误。前些时候，内蒙古自治区重奖了

几位科学家，他们都是给自治区的建设解决了重大问题的人，这是很正确的一个措施。当然，在中文刊物中，也可能会有很好的基础科学和应用基础科学的论文，对此更不应扣以垃圾论文的帽子，因为它们还没有机会和国际接轨。对这样的论文则应该鼓励论文作者把它们翻成英文，投到英文刊物上去，以参加国际竞争，在竞争中取胜，为国家争光。以上就是我对学术垃圾一语的新认识。

（2）学术大师。这也是报纸上的提法，连同下面将要讨论的诺贝尔科学奖得主，我想是这些报纸对钱学森老先生向温家宝总理提的问题：为什么我国到现在还培养不出杰出人才？对这一问题报纸提出的理解。即钱老所提的杰出人才，绝不是一般的杰出人才，而是指在国际上相关学科领域中，取得了重大的成就，产生了重大的影响，并得到了国际公认的科学家。报纸上对钱老问题的这些理解当然是对的。我在前一节一文中也就接受了学术大师的提法，并在文中加以讨论。但现在仔细想来，学术大师一语并不妥当。记得报上曾报道过北大的季羡林老先生婉拒学术大师桂冠一事。原来媒体曾对季老赠以三顶桂冠：学术大师、学界泰斗和学界国宝。但季老均加以拒绝，一顶也不要，全数退回。季老是有道理的。特别是在学术界，大师一语不但无益，而且有害。所谓大师，首先他是老师，一般人只能是他的学生；第二，此人还不是一般的老师，而是大师，高高在一般凡夫俗子芸芸众生之上，犹如高山，一般人只能抬头仰望，也就不可能和他进行平等的交谈。这样就无法在学术界落实温家宝总理所讲的，党和国家在科技界的根本方针：百家争鸣的方针。在学术界落实百家争鸣的方针，其前提条件就

是要实现在真理面前人人平等，不能允许在争鸣过程中有特殊人物出现，不承认有哪一个人在发现真理上拥有特权。只有这样才能在学术界展开真正平等的百家争鸣，实现真正的学术民主，才会使我国的学术界走上健康发展的康庄大道。在我的记忆中，国际学术界并没有学术大师这个提法。国际学术界当然也有权威，但是相对的，他们并不实行权威制。记得当年在改革开放之初，在剑桥进修时就有此深切的体会。那时我是随同中国科学院各个研究所的朋友们一起，通过中国科学院和英国皇家学会之间的协议，到剑桥来进修的。到剑桥后不久大家聚在一起交流时，就发现有共同的体会。那就是在国内各个研究所的专家，都是国内的权威，但是在剑桥大家在各个系所遇到的才是真正的权威。他们大多是在各自的领域中取得了大成就，在国际上有大影响，是世界公认的国际权威。可是很奇怪，他们比国内的那些权威却更加平易近人，更加没有架子，也没有什么威风，特别是在学术研究和学术讨论中，他们和大家一样，都是平等的一员，他们所发表的意见，人们不一定要服从执行，甚至可以反其道而行之，即使是在同一个单位内，权威是领导，其他人是被领导。而在国内却是另一种样子。那时的研究所领导大多是部队转业干部，他们对我们要求说：专家的意见，就是党的决定，大家要坚决执行。看来那时我们实行的是权威制。而在剑桥，专家和一般人的关系却要平等得多。正是由于他们有这种比较平等的关系，国际科学界在发展学术过程中就有更多的学术民主，有更实在的百家争鸣，虽然他们并没有提出过百家争鸣这一口号，这也正是国际科学界里的学科发展，有更快速度的道理之一。这一点，将来有机会我会做更详尽的讨论。

（3）诺贝尔科学奖得主。报纸上讨论这问题的时候，也曾有人说过，诺贝尔奖是外国人设立的，没有什么了不起，国内没有人得到也没关系，不必去理它，我们只要把自己的工作做好就是了。然而世界奥运会也是外国人设立的。但是百多年来历史的发展，已使它变成为世界体育竞技的主战场，所以我们只有参加进去，在和世界各国体育健儿的公平竞赛中夺取金牌，才能彻底抛掉“东亚病夫”的可耻帽子，展现我们现在的体育实力和体育水平，才能为国争光，为民族争光。同样道理，中华民族的伟大复兴，不仅要在体育事业上实现伟大复兴，科技是第一生产力，我们更应该在科学事业上实现伟大复兴。诺贝尔科学奖虽然是百多年前瑞典人诺贝尔设立的，但它同样经历了百年历史发展的考验，现在已成为当代世界公认的科学事业发展水平高低的一个重要标志。夺得了诺贝尔科学奖，首先就是国家的光荣，是民族的光荣。一个国家的诺贝尔科学奖得主很多，才能说明这个国家的科学水平居于世界前列，引导着世界科技发展的潮流。对诺贝尔科学奖无动于衷正是甘于落后的一种表现，有碍于中华民族在科学事业上的伟大复兴。还有一个问题，那就是诺贝尔科学奖的评选，都是由外国科学家进行，那会不会对我们中国科学家有歧视？由于我国近代几百年以来在科技上的落后，在国际科技界是会有个别人对我国有歧视。正像在国际体育竞赛中是会有个别裁判对我国运动员有歧视，会有裁判不公的事。然而还是要相信广大的国际裁判，是会秉公执法的。与此相似，在国际科技界也要相信广大的世界各国的科学家，只会比国际体育界更加实事求是，更加会公平地“执法”。具体到诺贝尔科学奖的评选，至少该奖项的评委会不

会有此歧视。对此我有亲身体会。记得我在南开大学物理系在岗时，曾接到诺贝尔奖评委会主席签发给我的一封邀请信，信中他代表诺贝尔奖评委会邀请我向他们推荐中国人的工作。由于我所熟悉的大气科学、流体力学、悬浮体力学都不属于诺贝尔科学奖项覆盖的学科范围内（诺贝尔科学奖所覆盖的自然科学学科并不多，只有物理学、化学、生理学或医学，当然它们都是基础学科中有代表性的学科），所以我无法向他们推荐。但是，我校物理系的其他教授也收到类似的邀请信。他们的学科都是物理学，正是诺贝尔科学奖所覆盖的主流学科，但他们也推荐不出。很遗憾，也很惭愧，我们这里实在没有够诺贝尔科学奖水平的物理学研究成果。任重道远，我国的基础科学界和应用基础科学界，要赶上我国体育界现在国际体育界上类似的地位和水平，还有一段很长的道路要走。

2.4 十年磨一剑现实可行吗

一些朋友还提到目前学术界急功近利，沉不下来，浮躁风气盛行的状况，完全是由当前评职称，评博导的政策造成的。如果不改革现在这种以论文数量论英雄的评职称和考核人员的办法，那谁肯去干十年磨一剑这种傻事。没等你磨完，不但你的职称得不到，甚至你的饭碗都会砸了。曹雪芹十年出一本而且是未完成的巨著一事，目前已不再可能发生；王小云八年只出一篇论文恐怕现在只有在山东大学才会有此种事；在一般情况下，八年或十年仅仅磨一篇论文、一本著作之事现在是行不通的。对此，有两个问题需要进一步讨论：一是十年磨一剑本身的问题；二是职称评定和考核人员的改革问题。以下分别

讨论。

关于十年磨一剑的问题，我在上一节的论述中有片面性，误把“剑”仅仅解释为“论文”了。现在需要根据我2005年在《创新话旧——谈科学研究中的思想方法问题》一书中的解释，重新加以论证。在那本书中，我明确地反对以论文的篇数来做计量科研工作成绩多少的单位，并且主张应以成果数计量为准。还是当年周总理和聂荣臻副总理在十四条中讲得好：科研战线的根本任务是：出成果，出人才。（现在的一些人则把它改成“出论文，出人才”了，这一改则完全错误。现在需要大力恢复“成果”在科研工作中的地位，同时应淡化“论文”的地位）因此，我所说的十年磨一剑，是指十年应该磨出一个重要的成果，一个成果通常要包括若干篇论文，当然也可以是一篇论文，如王小云那篇论文，就是一个很好的例子，但在多数的情况下一个科研成果不仅仅只有一篇论文。另一方面还需指出，一个重大成果常常还需要更长的时间。例如我那获国家自然科学奖的标志性成果，从1962年开始，到1997年为止，共花了我35年的时间；我校化学学院廖代正教授课题组所获的国家自然科学奖成果共花去他们20年时间；我校生命科学学院陈瑞阳教授课题组所获的国家自然科学奖成果共花去他们25年的时间。不仅基础科学如此，工程技术科学亦然。不久前公布的国防科技领域的重大成果，我国先进的第三代战斗机歼-10的研制成功，据报道共花了参与研制人员20年的时间。欲速则不达，显然，若不迅速彻底地纠正一年磨十剑的错误指导思想，则必定会大大延误我国科技事业的迅速发展。至于谈到出论文的速度，我在《创新话旧》一书中也讲了，也还要有一定的速度，虽然我

反对刻意追求速度（当然我也反对刻意地磨洋工）。平均而言，每年有个两三篇文章（一生下来应有个一百几十篇）也就可以了。这对一个带研究生的导师而言，并不难做到。而且我所理解的每年出两三篇论文，也不一定每一篇都是 SCI 论文，或核心刊物论文，甚至也可以包括会议论文。只是，作为一个立志要为中华民族的科学事业伟大复兴而奋斗终身的人，你必须选定几项重大课题（不可能超过 10 项，我在《创新话旧》一书中讲了，一个人一生中至多也只能做好做成几件事），并下定决心为此付出代价，包括付出足够长的若干年的时间，根据经验少于一年的时间是不可能解决一项重要的课题。今天（2007 年 1 月 19 日）报纸上报道了文化界的一条好消息，著名红学家周汝昌最近出版了曹雪芹 80 回本《红楼梦》的汇校本，被誉为是对中国古典文学，对中国传统文化做了一件功德无量的好事。原来自曹雪芹的《红楼梦》成书以后，在广大读者传抄过程中，该书曾被不少人篡改增删，以致许多地方都尽失作者原意，当周汝昌还是个青年学生在燕京大学读书时就发现这个问题，此时他就立下了一个宏愿，要在 11 种古抄珍本之中校勘出一个最能接近曹雪芹原意的《红楼梦》汇校本。后来的实践证实这一个宏愿是一个非常巨大的工程，前后共花了他 56 年周氏家族两代人的心血，真可说是文化界的一个惊人的“长征”。在这过程中，周汝昌不顾他 20 多岁起就开始双耳失聪，后来的发展，双目又几近失明，视力仅剩下 0.01，他长年累月地坚持逐字逐句地在 11 种古抄珍本中进行比较校勘工作，从比较中找出最符合曹雪芹原意的字和句，以进行恢复，这个极为细致的工作几乎耗尽他一生的精力，直到现在他的宏愿才得以完成。该书由人

民出版社出版后果然大受欢迎。出版社原以为此书的读者面不会大，仅局限于红学研究人员，然而出版后，它却受到了广大读者的欢迎，以致各地书店纷纷向人民出版社告急，现在出版社正在加印赶印之中。显然这是又一个十年磨一剑的非常成功的例子。自然，56年间周汝昌不会仅仅磨此一剑，报道还指出，周氏在他磨此剑的过程中，也出了其他一些成果，例如他30多岁时就发表了他的第一篇红学论文《红楼梦新证》并奠定了他在红学研究中的地位。像山东大学王小云那样八年只磨一剑的事例还是很少见的。总之，一个研究人员既要有一个坚定不移的主攻方向，准备为此付出长年不懈的代价，又必须要有一个灵活机动的战略战术，在条件成熟时，能不失时机的，速战速决解决一些其他难度较小的问题，这样才会立于不败之地。最后还需指出，十年磨一剑这个要求对于搞实验工作，和从事工程技术工作的人，当然比从事理论工作的人难度更大。因为这些工作不可能一个人去搞，常需要一个课题组，一整个团队的人，大家都和主要研究人员一起下定决心，都愿为此付出长时间工作的代价，才有可能最后取得成果。这就对实验性和工程性课题的主创人员，提出了更高的要求，要求他们不仅要善于自己攻关，还要善于团结别人和他一道攻关。自然，江山代有才人出，这种人总是会有的。例如，上面提到的我校化学学院的廖代正教授，生命科学学院的陈瑞阳教授，以及歼-10战斗机的总设计师，他们为这些大成果付出了更多的努力，理应得到更大的鼓励。

现在谈更关键的考核人员和评职称的政策问题。这个问题我觉得也不必太悲观，近来这方面也出现了一些可喜的现象，

报纸也开始接触到这一关键问题。前些时候，一些大报在谈到我国学术刊物在发表学术论文时存在着不当的出版费要价太高的现象，一篇论文少则要收几百元，多则要上万元。与此同时，报纸指出，这股歪风是由评职称考核人员时，以论文数量论英雄的不当政策引起的。报纸由此呼吁要进行改革。不久前从我校校刊上看到，我校在考核人员评职称政策上果然已经发生了可喜的变化。最近的校刊指出今后我校在评职称考核人员时，不再看论文数量，而只看代表作，显然这是一个非常好的改革，它提供一个机会使研究人员有可能从出论文的压力下解放出来，而把力量集中在一些难度更大，意义也更大的科学问题上。此外，我校也决定今后奖励论文也不再仅仅看它是否发表在 SCI 系列刊物，而是只奖励那些在高影响因子的 SCI 刊物上发表的论文。从上次校刊上发表的这次准备给以奖励的几篇在高影响因子刊物上发表的论文看，我校所谓的高影响因子是从 4 到 9，9 已经是非常高的标准，是我所知道的最高值。也就是说在这种刊物上发表的论文，平均而言，每篇论文每年可有 9 篇 SCI 论文引用。果然如此，如果在这样的刊物上发表的论文，随后确实能连续几年每年都能从 SCI 系统中检索出 9 篇国际同行的引用，那就说明这篇论文已通过了国际同行的实践检验，大家承认它是对这门学科的发展具有重要意义的重要成果，当然应该得到更大的奖励。

由此可见，改革已经开始，前景光明。然而要解决的问题还很多，改革不可停步，要坚持下去。那么下一步应如何走呢？这里我想贡献我的一点想法。由于我从来没有搞过科研组织管理，所以我不可能提出许多具体的实际可行的办法，此处我只

想提出一点我理想的考核人员评职称的办法来供大家参考。根据我个人的经验，这个理想办法显然是以剑桥大学的应用数学和理论物理系为蓝图的，所以它只能适合于我国国家级研究型的重点大学，特别是那些以建设世界第一流大学或世界知名的高水平大学为目标的学校。其中又以基础学科和应用基础学科为主。我的理想办法，主要包括下列两方面。

其一，在这样的大学里，应该建立起高水平高频率的学术研讨会制度。要从制度上规定，一个系每周必须至少有一次研讨会，一个教研室每周也必须至少有一次研讨会。如果一个学院有 5 个系，15 个教研室，那么这个学院每周就至少有 20 次学术活动，一个学期下来，就至少有 360 次学术活动，那就很可观了，在这样的学院里，才会形成良好的学术气氛，才会使在这个学院工作的老师们和研究生们，都能全身心地投身到蓬蓬勃勃的、汹涌澎湃的，相关学科发展的洪流之中。在这样的学院里工作的老师们每周则至少要参加两次学术研讨会（本教研室的和本系的），一个学期下来就至少要参加 36 次学术研讨会。在这样持久的浓厚的学术氛围中，既可以推动学术工作的发展，又为考核人员提供了一个很好的客观的基础。第一，学校各学院院长，学院各系的系主任，各教研室主任就应当从繁重的行政事务中解脱出来，转而明确他们的主要任务应该是组织好上述这些学术活动：每学期在开学以前，他们就应把本学期的学术研讨会安排好计划好并及时发出安民告示。要有足够广阔足够敏锐的视野：要从上学期在国内外各重要的学术刊物上新发表的论文中，国内外各种学术会议上新发表的论文中，国内外新公布的各种重要的学术成果奖项里，各种学术出访过程中的

新发现里，从中找出并抓住最前沿最有生命力的学科的新发展特别是新生长点并邀请好有关人员在本学期来这里做报告。是否安排好并能落实这些研讨会，是否保证这些研讨会有足够高的学术水平应成为考核学院各级负责人业绩好坏的主要依据。第二，这种学术活动对老师们也是一种很好的考核。老师们如何参加这些学术活动，他自己作报告时水平如何？他在听取别人报告时又是如何表现？这些都很真实地反映出一个人的真正水平，因此是考核每一位老师真实业绩的很好的客观依据，比在平时没有制度化的经常性的活动，等评职称时再来考核他的水平为好。当然，通过学术活动来考核人员只是它所能起的作用的一个方面，而更为重要的积极方面，则是通过不同的学术思想交锋，它可以在推动学科健康发展上起关键的作用，同时还会在提高与会人员水平上起关键的作用。所以搞好学术活动，对学术机构讲是一本万利的事。

其二，需要改革各类人员的考核标准问题。这个问题比较大，我们将在下面专门辟出几节来讨论这四类人员的考核评定问题：中国科学院院士的考核；研究型重点大学里的 A1 岗教授、学术带头人的考核；一般教授的评定以及博士学位的评定。

2.5 如何考核中国科学院院士

中国科学院院士是国家对自然科学研究人员所给予的最高荣誉称号，他们代表了我国最高的学术水平。因此，他们在解决钱老向国家领导人提出的：“为什么我国到现在还没有培养出杰出人才”问题中应起关键的作用。事实上，他们本来自己就应该是这种杰出人才。因此，考核中国科学院院士时应当有高

标准，即：一位院士应在本学科领域解决了学科发展的重大问题，取得了原创性的重大成果，并且在相关国际学术界有了重大影响，取得相关领域国际同行的公认。如果他是位理论科学家，那么他的原创性的理论创新就应解决了所属学科发展的重大难题，并已有了实验证明。如果他是位实验科学家，那么他在实验中所发现的新现象，就应是该学科的重大的新发展，并已有了很好的理论解释。所有以上成果，都必须得到了国际公认，并有了重大影响。这些成果必须能为至少两本在国际上有重要影响的学术专著所引用，这些专著应能承认这位院士的成果在学科发展中确实具有重要意义，而在该著作中能给以足够的篇幅加以详尽介绍和引用（这就是重要的引用而非一般性的，仅仅提到有这么一个工作而已的引用）。此外，在 SCI 刊物上每年还必须能检索出国际同行有不少于 10 篇对该院士这个成果的引用论文。最后，作为中国科学院院士这一科学界的最高荣誉拥有者，他还应该取得更多项重大成果，在国际上的影响能够达到和刚才讲的那一成果同样高的程度。

2.6 如何考核 A1 岗教授、学术带头人

A1 岗教授、学术带头人，这是大学里对相关学科的人员所能给予的最高荣誉，代表了那所大学的这一学科的最高水平，因此也应该有高标准的要求，但不必像中科院院士那么高。所以他应该也取得了相关学科领域中的重要的原创性的成果，这些成果也应经受住了国际同行的实践检验，并得到国际同行的承认，还有了重要影响。他的这一成果必须能为至少两本在国际上相同学科里有重要影响的专著所引用，但不必是重要引用，

一般引用也可。此外，在 SCI 刊物上每年还必须能检索出国际同行有不少于 4 篇国际同行引用他的成果的论文，而不是 10 篇。最后，他也必须取得更多的若干项的成果，在国际上的影响达到了类似的水平。

2.7 关于教授职称的评定

前已指出，我校在评职称时，已不再看他的论文数量，而只看他的代表性成果，这一改革大方向完全正确。那么进一步应如何考察他的代表性成果呢？我以为不要再看他这个成果包括多少篇论文，也不要看它们发表在什么样的刊物上，而应把注意力集中在以下几个问题上。一是要看该成果有没有挑战权威大胆创新的精神；二是看所解决的科学问题有没有意义，以及意义大小；三是要看所使用的方法是否正确，是否有创新；四是看所得的结果是否正确，有无新意和意义大小；五是看该成果有没有人引用，但不必一定是 SCI 刊物的引用。这五个问题还可以进一步概括为一个问题，那就是他的这一代表性成果有没有原创精神（即原始创新精神）。这种创新，不可以是在枝节问题上的创新，而必须是在主流问题上的创新，不可以是小问题，而必须是大问题，不可以是无足轻重的问题，而必须是在学科发展上能够开创一个新起点，开创一个新局面。具备这样精神的就可以给予教授职称，对论文引用问题则不必苛求。

2.8 关于博士学位的评定

对读博士学位的人应该严要求，这本是没有疑义的。问题是应如何严要求？一些人主张在他做学位论文之外再加担子。

有人主张除学位论文之外，他还应该再发表两篇刊物论文，否则就不授予他学位。有人觉得两篇太多了，但至少也应该交出一篇刊物论文。对此我却不敢苟同。我认为这仍然是以论文多少论英雄的思想在作祟，对提高博士学位论文的质量毫无好处。为提高博士学位论文的质量，绝不可另外再要求他去搞什么样的刊物论文，而应该引导他在三年攻博时间集中全力去争取出一篇优秀的博士学位论文。一篇优秀的博士学位论文应能解决好刚才我在评定教授职称中讲的四个问题（那里的第五个引用问题此处可除外）。归结到一点，一篇优秀的博士学位论文也应该具有原创精神。他所解决的问题不是枝节问题，而是主流问题；不是小问题，而是大问题；不是无足轻重，而是可以开创一个新起点，创造一个新局面的重要创新。具备这种原始创新精神的博士论文，就应该授予他博士学位。拿他是否还发表了其他的刊物论文来否决他的学位，则是完全错误的。

以上是我的理想。它是指在国家级研究型的重点大学里，在建设世界第一流的大学里，或者是在建设世界知名的高水平的大学里，特别是在基础科学和应用基础科学中工作的人员，应当如何进行考核，如何评定职称和学位的一点不成熟的个人想法，不当之处在所难免，欢迎朋友们进一步批评指出。

（2007 年 1 月 24 日初稿写成于南开园）

（2011 年 7 月 26 日再加工并编辑于南开园）

基础科学研究中的剑桥方向

1 Hunt 教授的湍流研究

1.1 基础科学研究中的一块圣地

剑桥大学素以出色的基础科学研究闻名于世。可以说她是现代科学的一块圣地。开辟现代自然科学的一些科学巨人们，像牛顿，麦克斯韦，卢瑟福等人正是在剑桥创造出他们彪炳史册的伟大科学成果。几百年来剑桥大学在基础科学研究上居然能做到长盛不衰。进入 20 世纪以后，她仍能以盛产诺贝尔科学奖得主及诺贝尔级的科学成果而著称于世。虽然创造诺贝尔科学奖以及诺贝尔级的科学成果难度极大。例如，在我国这样一个拥有 13 亿人口，拥有大批中国科学院院士的大国，但新中国成立以后 60 多年来却连一个诺贝尔科学奖或一个诺贝尔级的科学成果也未能做出，可见诺贝尔科学奖和诺贝尔级的科学成果创造之难。然而在剑桥这样一所大学之内，却不仅能产生一个两个，而是能产生成批的诺贝尔级的科学成果，和成批的诺贝尔科学奖得主。据统计，她单单一所大学的诺贝尔科学奖得主常可超过一个欧洲科学强国的诺贝尔奖得主的总和。综上可见，剑桥大学的基础科学确实名不虚传，十分惊人，堪称科学史上的一个奇迹。于是，人们就常常以为在剑桥大学工作的那些教授们，应该都是些不食人间烟火专注于那种非常纯的基础科学

研究的科学家。然而30多年前，当我初次来到剑桥，来到由国际流体力学大师G. K. Batchelor教授创办和领导的剑桥大学应用数学和理论物理系，和系里教授们的初次接触，却和我的这一认识完全相反，因而使我非常惊讶。

1.2 他不搞基本问题，他搞应用——创造非均匀流中的烟羽扩散新理论

我是带着湍流中的不连续性这一湍流基础研究中的大难题到Batchelor教授这里来请教的。Batchelor教授是闻名于世的湍流大家，而且早在1949年他就在风洞实验室中发现了湍流的这一特性。那时他把这一特性称为湍流的间歇性，而且认为是湍流活动中的固有特性，非常重要。因此，我那时满怀着很大的期望想在Batchelor教授亲自指导下来研究这一难题，希望能有重要的收获。可没想到，在Batchelor教授和我第一次interview时，他就告诉我他早已不搞湍流了，不过他们系里的Hunt教授仍在做湍流，有关湍流的问题可以去找他谈。于是我来到了Hunt教授的办公室。更出乎我的预料的是：Hunt教授开门见山，直截了当地告诉我，他不搞基本问题的研究，他搞应用。目前是在做扩散方面的课题。“啊！我是在剑桥吗?”我很吃惊地暗想。扩散确实是湍流应用方面的一大课题。40年前我在大气物理所就搞过。那时我们在顾震潮先生的领导下，承担了原子弹在大气中爆炸后所产生的影响的研究任务。我们要研究原子弹爆炸所产生的蘑菇云如何向下风方面扩散的课题。可那是在中国科学院的大气所。按照当时我国对基础科研制定的发展路线，中国科学院各个研究所必须按照“任务带学科”的方向

来发展。因此，承担国防研究任务就是我们大气所必须承担的光荣职责。而这里是在剑桥，是在举世闻名的基础科学研究圣地。怎么他们也搞起应用研究来了？难道他们也承担起英国的国防任务？难道剑桥的基础研究也要按照我们的“任务带学科”的路线来发展？我实在感到不解。然而当我进一步了解了 Hunt 教授的研究工作后，我才渐渐地明白，他们搞的湍流扩散应用研究，和我当年在大气所搞的有很大不同，甚至可以说是根本不同。

首先，我们当时在大气所研究扩散课题的目的很明确，那就是要为我国原子弹的研制服务。要研究原子弹在大气中爆炸后所产生的大气扩散问题。而当时 Hunt 教授在剑桥所搞的扩散课题，却没有这样明确的目的。实际上那时以 Hunt 教授为首的剑桥学者是另有所图：那就是他们要发展扩散理论，进行扩散理论上的创新。显然这并不是像我们那样的纯应用研究。实际上，它仍然属于基础科学研究的范围。确切地讲，是属于应用基础科学研究。这正是剑桥的基础科学研究的一大特色。

其次，在研究方法上也有很大的区别。当年我们在大气所所搞的湍流扩散研究，是采用野外烟团扩散实验方法来从事大气扩散规律的研究。其目的是要检验现有的扩散理论，最后要得出一组不同天气条件下半经验半理论的扩散曲线，以供我国原子弹试验基地在原子弹试爆时发布放射性污染物污染范围警报时参考。然而，Hunt 教授在进行扩散理论创新时，却不搞实验。他们是直接从研究现有扩散理论的局限性开始。这就很容易地发现现有的扩散理论都是局限于均匀气流条件下。事实上，现代的湍流扩散理论是从 Batchelor 教授的老师，20 世纪上半叶



的国际流体力学大师 G. I. Taylor 教授在 1921 年所建立的。从那时起，经过 30 年代 Sutton 的发展，以及 50 年代和 60 年代 Pasquill 和 Hay 以及 Smith 等人的进一步发展，已经形成了一套相当成熟的湍流扩散理论。然而这些理论都是局限在当年 G. I. Taylor 教授所规定的均匀气流条件基础之上，所以它带有很大的局限性。这种理论只有在平坦均匀地形中才有可能实现。当年我们在大气所从事野外烟团扩散试验时，所选择的地形也是平坦均匀的地形，只有这样才能检验现有的扩散理论。但是实际问题中的地形却很难找到这种绝对均匀平坦的地貌。某种地形上的起伏，甚至会遇到某种障碍物，这都是常会发生的事。此时的扩散情况显然不可以均匀气流条件下的扩散理论来解释。于是创造新的非均匀气流条件下的湍流扩散理论，就成为 Hunt 教授研究湍流扩散问题时的首要目标。目标选定后他们在方法上也是从理论上入手。他们选择了两种典型的非均匀流场下的问题来做。一种是两维的半圆柱非均匀绕流问题，另一种是三维的半球形绕流问题。结果发现，这两种非均匀流场中的扩散和均匀流场下的有很大的不同。当流场在绕流时发生幅散（即流场发散）情况下，烟团扩散速度会比均匀流场下的快很多。反过来，当流场在绕流时发生幅合（即流场汇聚）情况下，烟团扩散速度就比均匀流场中的扩散慢很多。最严重的情况下，烟团宽度不但不会随扩散距离的增加而增加，反而还会发生缩小的情况，这都是过去的均匀流场湍流扩散理论所无法解释的。显然这种条件下所产生的实际影响也就要比均匀扩散严重得多。以上就是在 70 年代，剑桥大学的 Hunt 教授等人对湍流扩散理论所做出的新发展。这同时也就大大拓展了原有的扩散理论所能

应用的范围。就这一点而言，在剑桥那里，他们和我们完全相反：他们搞的是“学科带任务”而不是我们的“任务带学科”。显然，这是以剑桥大学 Hunt 教授为首的学者们在70年代对湍流扩散理论做出的重要贡献。

1.3 国内的基础科学研究在两个极端方向中摇摆

当我了解到 Hunt 教授等人的湍流扩散问题研究的实际内容后，我很感慨。我们那个时候的科学院，经常在纯基础研究和纯应用研究两个极端方向中摇摆。有时人们强调要重视基础科学研究时，大家就都摆到像 1 + 1 等于几那样的纯而又纯的基础研究中去。过了一阵人们又强调要重视应用，大家就都摆到纯应用的方向上去。恨不得把科学院的研究所都变成某一个国防单位或者某一个国民经济部门附属的实验室。而像剑桥大学的 Hunt 教授等人这种类型的应用基础科学研究，却始终排不上号，无人问津。这实在是可惜，太可惜了。

当然，剑桥大学的学者们在从事他们这种类型的应用基础科学研究时，也并没有放松对纯基础科学问题的关注。例如，我原来想到剑桥研究的湍流的不连续性（即间歇性）问题。1981 年当时法国学者 Frisch 的跨国三人小组（另外两位是美国学者 Orszag 和瑞士学者 Morf）对于这一大难题，做出了突破性的新进展，他们就马上把 Frisch 请到剑桥来向剑桥学者详细地讲述这一重大的最新进展。我也就是从这一次活动中才认识到像湍流间歇性这一重大的基础科学问题，其难度是多么大。实际上这一问题到现在又过去 30 年了，但它仍然还没有完全彻底地解决。其难度简直可说是非比一般了。

1.4 我的一点建议

从以上湍流研究的例子就可以看出，纯基础科学问题的研究难度要比应用基础科学问题的研究难度大很多，所需要研究的周期也就要长很多。从此也可以看出加强应用基础科学研究的又一重要性。从事纯基础研究的人们应该少而又少，而从事基础科学研究中的大部分人们，应该去从事像剑桥学者那样的应用基础科学研究。在这里需要强调的是：千万不要把他们变成是纯应用研究部门；千万不要把他们变成是某一国防单位或某一经济部门附属的实验室。这样才会既有利于我国基础科学事业的健康发展，同时也就会大大有利于我国的现代化事业的蓬勃发展。以上这点浅见不知各位朋友们以为如何？欢迎朋友们批评指正，欢迎朋友们不吝赐教，谢谢。

(2011 年 5 月 28 日开始写于南开园)

(2011 年 7 月 20 日完成于南开园)

(2011 年 7 月 27 日再加工并编辑于南开园)



2 Batchelor 教授的悬浮体力学

2.1 他不搞很纯的问题——创建为化学工程服务的悬浮体力学

上篇文章从 Hunt 教授的湍流研究谈到了剑桥大学基础科学研究具有鲜明的应用色彩。实际上，这正是 Batchelor 教授领导他那个应用数学和理论物理系的指导思想，当然他自己必然会

身体力行。有一次，一位国内研究流动稳定性的专家到这里来访问。当谈到剑桥的研究工作时，Batchelor 教授明确地告诉他：我们不搞很纯的问题。那位专家接着问他：什么是很纯的问题？Batchelor 教授回答说：例如你搞的流动稳定性。的确，当时 Batchelor 教授自己做的悬浮体力学，就有明确的应用对象：那是化学工程。当时，美国斯坦福大学化学工程系的主任 Acrivos 教授，是 Batchelor 教授的好朋友，有关化学工程的情况及其对流体力学的要求，都是 Acrivos 教授向 Batchelor 教授提供的。顺便讲一下，流体力学和化学工程关系非常紧密。Acrivos 教授本人就是一位流体力学专家，他是当时美国《流体力学年鉴》的主编。此外，流体力学中一本重要著作《低雷诺数流体力学》的作者，则是纽约市立大学化学工程系的两位教授。在化学工程管道里流动的都是胶体，胶体是流体的一种，胶体科学就是化学工程的一门应用基础科学。因此容易理解，流体力学家向化学工程靠拢并不是件难事。Batchelor 教授当时做的悬浮体力学，实际上也就可以叫做胶体力学。显然这绝不是那种非常纯的基础科学，而是一种应用基础科学，它的服务对象就是化学工程。这正是剑桥大学的基础科学研究的一大特色。

2.2 创建流体力学中的一个新分支

然而 Batchelor 教授自己却并不把他的这门学问叫胶体力学，而是采用了悬浮体力学这个名字。这里当然有他更深刻的用意，更宏大的企图。原来流体力学自 19 世纪完成了黏性流体力学的一些大发展：产生了著名的支配黏性流体运动的 Navier-Stokes 方程，产生了著名的低雷诺数的 Stokes 近似，产生了更加著名

的高雷诺数的 Prandtl 边界层近似，流体力学就来到了它第一次顶峰，几乎已很完美。进入 20 世纪后，流体力学就开始向各个工程部门渗透，首先是航空工程。于是产生了一门新学科分支——空气动力学。到了 20 世纪中叶，空气动力学已经对航空工程做出了重大贡献，其中包括我国著名科学家钱学森和他的老师——20 世纪上半叶另一位国际流体力学大师 von Kármán 完成的：亚音速下机翼绕流的 Kármán-钱近似。在这些杰出的工作推动下，人类终于实现了喷气超音速飞行。然后，流体力学在 20 世纪下半叶就开始转向了其他应用领域。一些新的流体力学分支就应运而生。例如地球物理流体力学、地质流体力学、生物流体力学、血液循环流体力学等。当然，在 20 世纪流体力学本身的研究仍然有很大发展，这里指的是超高雷诺数下的湍流。特别是在 20 世纪上半叶湍流研究取得了非常出色的成就，Batchelor 教授也是其中的佼佼者。然而在 20 世纪下半叶，由于在更深入研究湍流时遇到了非常大的困难而处于进展非常缓慢的阶段。在这新形势下，人们自然会考虑转向应用方面的问题，实际上是转向应用基础科学，这正是剑桥的基础科学研究特点。但是，Batchelor 教授是一位国际上著名的大科学家。所以，他绝不会仅仅满足于创造一个新的应用基础理论，就像 Hunt 教授创造一个新的非均匀流下的烟羽扩散理论那样。不！他要创造的是一门新的应用基础科学分支——悬浮体力学。胶体仅仅是悬浮体的一种，但绝不是唯一的一种。例如云雾和气溶胶等，在 Batchelor 教授看来，它们也是悬浮体。于是取代胶体力学的提法，Batchelor 教授提出了创造新学科悬浮体力学的任务。显然悬浮体力学比起胶体力学的提法含义更广泛，意义更重大。

原来做应用基础科学研究也可以有很大的作为啊。

2.3 在悬浮体力学上 Batchelor 教授的四方面工作

在悬浮体力学上，Batchelor 教授主要做了以下四个方面的工作，并都取得了很突出的成就。

2.3.1 悬浮粒子的平均沉降速度

虽然悬浮粒子沉降问题离开流体力学的中心问题已经相当远，但它是化学工程所关心的重要课题。所以，Batchelor 教授还是对它投入了很大力量。1972 年他成功地克服了求取平均沉降时所遇到的积分发散困难，从而得到了一个稀释单分散系统悬浮粒子的平均沉降速度计算公式。后来这个公式得到了实验工作者的实验证实，Batchelor 教授的第一个沉降理论就得到了公认。但是单分散系统指的是系统内的悬浮粒子半径和密度都相同。而实际化学工程中胶体系统里的悬浮粒子却是多分散的。也就是说粒子之间的半径和密度都大不相同，这个问题就复杂多了。只是 10 年以后，1982 年在我的协助下 Batchelor 教授终于才成功地克服了在求取多分散粒子的平均沉降速度时，所遇到的求解粒子对统计分布的困难。这个问题非常复杂，它又取决于三个参数：第一个参数是 Peclet 数。这个参数有点类似于黏性流体力学中的雷诺数。它是悬浮粒子的重力输送项和布朗扩散输送项的比。和黏性流体力学只研究高雷诺数和低雷诺数情况一样，我们现在只能分别研究高 Peclet 数和低 Peclet 数两种不同的情况。然后，这两种不同 Peclet 数的情况又进一步取决于两个不同的参数：一个是粒子的半径大小比，比值在 0 和 1 之间；另一个是粒子密度和介质密度差的比，比值在正负无穷大之间，



可见问题的复杂程度。只是经过极为大量的繁重计算，我们才得到了稀释多分散悬浮粒子在不同的Peclet数情况下的，若干组不同大小比和不同密度差比的沉降系数变化曲线族。非常幸运的是：我们这些计算出来的曲线成果，很快就得到了实验工作者的实验证实。这样，Batchelor教授的第二个沉降理论就得到了人们又一次的公认。十年的工夫没有白费，一次沉降理论研究中的突破性重大发展终于到来。自1851年Stokes得到了著名的孤粒子沉降公式后，历经120多年人们对沉降理论的不懈地顽强探索，只是到了现在Batchelor教授这里，沉降理论才得到又一次重大的飞跃。这种应用基础科学理论上的飞跃必然会带来了化学工程等问题的实际利益。人们现在终于可以计算各种工程实际问题中具体的悬浮粒子沉降速度了。从剑桥回国后，有一次我在中国颗粒学会报告了Batchelor教授和我所做的工作。报告引起了与会人员的浓厚兴趣。报告后他们纷纷地围着我索要有关的数据资料。中国颗粒学会的会员大多是各种工程领域的工程师。我对他们说这些数据仅仅是些理论数据，不一定对你们实际的工程问题有用。但他们却说这些数据已经够好了，很有用，他们需要。Batchelor教授沉降理论的应用价值，在这里又一次得到证实。人类对沉降现象的研究已经经历了很长一段历史。在这历史的长河中，应该说Batchelor教授的贡献十分突出。因此，它理应和当年的Stokes一样，能够载入有关学科的发展史册，在有关科学的发展史中留下深深的痕迹。

2.3.2 悬浮体的有效黏性系数

对于纯净的不含微粒杂质的黏性流体而言，描述其黏性大小的黏性系数是其基本的物理参数。与此类似，悬浮体实际上

也是一种宏观上的黏性流体，它的有效黏性系数（或叫等效黏性系数）也同样是悬浮体基本的物理参数。于是，虽然这问题对化学工程不那么重要，但由于它是悬浮体力学中不可或缺的一个基本问题，所以，Batchelor 教授就仍然对它做了不少工作。这里边包括了 1972 年 Batchelor 教授和 Green 合作的两篇文献，以及 1977 年 Batchelor 教授自己单独的一篇文献，前后共花了 5 年时间。

黏性流体的黏性应力仅当流场是非均匀流场，其中的速度梯度处于非零状态时才能表现出来。换句话说，当流体的流场是均匀流场，其中的速度梯度为零的时候，该流体的黏性应力也就为零，无法表现出来。由此可见黏性流体的黏性应力，应当和它的速度梯度成某种正相关的关系，虽然不一定会成正比。当黏性流体的黏性应力确实和它的速度梯度成正比时，其中的比例系数，就叫做黏性系数。黏性系数越大，流体就越黏，该流体就叫做牛顿流体。否则，就叫非牛顿流体。这种特殊的非牛顿流体仍然具有黏性性质，只不过它的黏性应力不再和其速度梯度成正比，仅仅呈现出某种正相关的关系罢了。显然，对于非牛顿流体而言，就很遗憾地不再存在黏性系数这个物理参数，因而越出人们的研究范围。幸而在实际上很多流体都是牛顿流体，例如空气和水。所以研究黏性系数大小，仍然是黏性流体力学中很现实很需要着重加以研究的一个基本问题。

当纯净的黏性流体掺杂进微粒杂质时，流体就成为悬浮体。这种悬浮体的有效黏性（或叫等效黏性）比原来纯净流体的黏性有所增加。原来，当微粒进入纯净流体之后，这微粒会在原来的非均匀流场中产生一个扰动流场。反过来，这扰动流场就



会对这微粒做功，进一步消耗了原来流场的动能；其动能耗散率就比原来流场的大大增加了。整体来看，这个悬浮体的有效黏性（或叫等效黏性）也就应当有所增加。如果原来纯净流体是牛顿流体，那么在一定条件下，新的悬浮体也会是牛顿流体。于是这个悬浮体也就存在等效的黏性系数，即有效黏性系数。研究这种有效黏性系数就成为悬浮体力学中的重要课题。

最早研究这问题的是20世纪最伟大的理论物理大师爱因斯坦。这真是件不可思议的事。真想不到这位理论物理大家也会对悬浮体力学如此有兴趣，且竟然会如此精通。爱因斯坦选择一种极端稀释的悬浮体来研究。所谓极端稀释，就是可以用孤粒子模型来模拟这种悬浮体。可以证明，这种悬浮体此时仍然是牛顿流体，它确实存在有效黏性系数。爱因斯坦求得了当微粒放入原来流体的非均匀变形流场时所产生的扰动流场表达式。接着他就能导出这种扰动流场对粒子所做的功。于是，爱因斯坦就在悬浮体力学的发展史中第一次求出了悬浮体有效黏性系数计算公式。再考虑到爱因斯坦对悬浮粒子的布朗扩散系数所做的开创性工作，人们可以说，他才是悬浮体力学真正的奠基人，虽然爱因斯坦当时并没有提出悬浮体力学这一名词，可它们仍然是很了不起的工作。

科学总是要一步一步地向前发展。下一步的发展就是要放松对极端稀释条件的限制，研究一般稀释悬浮体里的有效黏性系数问题。取代爱因斯坦曾使用过的孤粒子模型，此时人们就必须考虑用粒子对（双粒子）模型来模拟悬浮体。这时就产生了三大难题。第一，要求出在双粒子流体动力相互作用下，它们在背景非均匀纯变形流场中所产生的扰动流场；第二，进一

步还要求出粒子对在非均匀变形流场中的统计分布，第三大难题，就是要克服求取平均积分时所遇到的积分发散难题。我们在前面求悬浮粒子平均沉降时曾遇到了积分发散困难。现在又遇到了它，只是具体的表现形式有所不同。由于低雷诺数流所特有的慢衰减，于是在所有悬浮体力学中求某种平均量时，就都会遇到积分发散的大难题。对于一般稀释悬浮体的有效黏性，这个积分发散大难题连同前面两个难题一起，只是到了 20 世纪 70 年代由 Batchelor 教授在他的合作者 Green 的帮助下才得以解决。但是他们马上就发现，在非均匀纯变形流场中粒子对的统计分布一般是非均匀非球对称的。这样一来，新的悬浮体就不再是牛顿流体，也就不再存在有效黏性系数。幸而对于高 Peclet 数和低 Peclet 数这两种极端情况，它们的粒子对统计分布分别是球对称（高 Peclet 数）或是均匀分布（低 Peclet 数），于是 Batchelor 教授就得到了这两种特殊情况下的有效黏性系数计算公式。这又是一次突破性的发展，是有效黏性系数这一悬浮体力学中最基本的物理参数在爱因斯坦后的重大发展。当然，有效黏性系数的测量比起沉降速度要困难得多，因此到现在这方面的实验数据还非常少。然而，从现在仅存的低 Peclet 数下实验工作者所得到的两个数据看，Batchelor 教授的有效黏性系数计算公式趋势，还属正确。对此，我们感到欣慰。

2.3.3 悬浮粒子的传质率

传质是流体力学三大课题之一。即所谓三传：传质、传热和传动量。最后一个传动量实际就是流体黏性，前面已经讲过。这一节讲传质。在云的微物理学中，传质实际就是水汽在云滴上凝结过程；或反之，水气从云滴上蒸发过程。因而传质是云

滴增长的两大基本过程之一（另一个是碰并过程，将在下一节讲），在云的微物理学中已经研究过许多。我对它们还比较熟悉，从前在大气所研究云的微物理时搞过。

当悬浮粒子（例如云滴）悬浮在静止的介质中，早已证明此时悬浮粒子的传质率（例如水气在云滴上的凝结或蒸发的速率）与粒子表面的物质浓度（例如水气浓度），和环境的物质浓度（仍然是水气浓度）有关，是和这两个浓度之间的差成正比。

当悬浮粒子周围的介质在运动，存在外流场时，此时的外流场会起放大物质浓度差（例如水气浓度差）的作用，因而加大了传质率。这问题比较复杂，只是到了60年代才有比较多的研究。首先是对于最简单的均匀外流场进行研究，并且得到了比较精确，被均匀外流场放大了的传质率。

均匀外流场情况是太理想了，实际上经常是非均匀外流场。因此进一步的发展，就要研究非均匀线性外流场的作用。这问题当然要复杂得多。只是到了70年代才由Batchelor教授比较完整地解决。有多种不同样式的非均匀线性外流场，它们放大传质率的大小都有所不同。这里面有剪切流场中的传质率，再有是纯变形外流场。其中又分两维纯变形外流场传质率，和轴对称纯变形外流场传质率。还有更一般的两维外流场的传质率。都是非常复杂的难题。凭借着高超的数学技巧，1979年Batchelor教授都把它们分别地一一加以解决了。这是悬浮粒子传质率研究中的一次突破性进展，很了不起。

然而，悬浮粒子传质率的研究本身还存在很大困难：首先是实验上的困难。到现在为止，还没有看到过任何这方面的实验工作。因此，所有的传质理论都还有待进一步的实验证实。

其次是理论上的困难。目前所有的传质理论，都还只是孤粒子传质理论，它们只适用于极端稀释的悬浮体。对于一般稀释悬浮体的传质率，此时就要考虑双粒子的流体动力相互作用。难度就更大了，现有的理论则都尚未触及。因此应该说，悬浮粒子的传质问题，目前还只是处在它的初级发展阶段，还有很大的发展空间。任重道远，悬浮体力学的工作者在这方面还大有可为。

2.3.4 悬浮粒子的碰并率（重力碰并率）

这问题是我到了剑桥以后，由我在 Batchelor 教授的指导下完成的。虽然我是带着湍流问题到他这里来求教。但他告诉我：他之所以接受我的申请，是看到我以前搞过云的微物理，而且搞得还不错。于是他想通过我的云的微物理学把他现在的悬浮体力学研究成果，扩展到云的微物理学里来。在我向他介绍了云滴增长的两大物理过程后，他选择了重力碰并过程建议我来做。

从前我在大气所搞云的微物理时也做过重力碰并，但是它和在剑桥所做的有本质上的不同。在大气所，我们仍然是在搞应用。主要是把现有的重力碰并理论应用于云的微物理之中心问题——解释云滴如何在很短时间内，经由重力碰并过程长大成雨滴。我们承认现有的重力碰并理论本身正确。我们不去研究这理论本身的问题，我们只是在应用它。而在剑桥却是要找出理论上的问题，进行理论上的创新。Batchelor 教授指出：从悬浮体力学的观点看，任何悬浮粒子的布朗运动都是其基本特征。因此任何悬浮体力学问题都要考虑随机的布朗运动，于是就都要使用统计理论的方法来研究。重力碰并理论也属悬浮体

力学中的一个课题，因此也不应例外，虽然现有的理论都是采用粒子运动确定论型的轨迹分析法。于是，我们现在就必须使用一种新的统计理论方法来做。同时，就还可以研究粒子的布朗运动对粒子的重力碰并有何实际贡献。最后，这就意味着我们现在要摒弃轨迹分析法，转而使用描述粒子对统计分布变化的对分布方程法来求解。经过一段研究，我们使用了流体力学中求解边界层方程的 M(Mises)-L(Levich)-B(Batchelor)方法。将这种方法应用于我们问题中的对分布边界层方程，经过一段较长时间的努力，1984 年在经过对于对分布方程多次变换后，我们终于得到了重力碰并率很漂亮的一个解析解。而轨迹法就不行，它要经过数值实验才能得到重力碰并的碰并率。同年，一位到 Batchelor 教授这里来做访问学者的年轻的美国人 Davis，他使用传统的轨迹分析法检验了我们的这个解析解，结果证实我们的新理论能够成立。虽然在研究的过程中，我们发现相对于重力而言，布朗运动的对重力碰并的直接贡献是个小量，因而对重力碰并率的大小没有直接影响。尽管如此，布朗运动却给重力碰并贡献了一个新的理论方法，这仍然是可喜的收获。

2.4 真是遗憾

我刚到剑桥接受了 Batchelor 教授的建议，准备在他的直接指导下去做悬浮体力学的时候，一方面我很高兴，终于可以在他这样的大科学家指导下工作了；另一方面也很紧张，因为悬浮体力学对我是一个完全陌生的学科。究竟悬浮体力学是什么，我一点概念也没有。Batchelor 教授只给了我两篇文章。一篇是他 1972 年的单分散悬浮粒子沉降的统计理论；另一篇是 1979 年

他的悬浮粒子传质理论。此外，他还送给我一本他在1967年写的《流体力学导论》。他说我当年在北大上学时所读过的库兹涅佐夫为工科大学生写的《流体力学教程》，是完全不行的。为了能从事现在的悬浮体力学的工作，他建议我必须读读他这本流体力学。然而我自己更迫切的想法却是：找一本悬浮体力学的参考书来引导我入门。于是去问剑桥的朋友们。很意外的是他们告诉我：世界上现在还没有悬浮体力学这样的书。这样的书现在Batchelor教授的脑子里。大家都在等他把这门学问写出来。于是我就去问他。他承认他有这样的打算，但是现在条件还不成熟。还要等他再做一些工作后，才能动笔。1989年，我在国内写成了一本《微大气物理学导论》，我寄给他一本请他指教。并且问他，他的悬浮体力学写成了吗？我期待着他会回赠我一本他的书。

出乎我的预料，他确实回赠了我一本。但不是他写的书，而是美国普林斯顿大学化学工程系三位著名的胶体科学家Russel、Saville和Schowalter，他们也是在1989年合著的《胶体分散系统》。Batchelor教授说他已经放弃了撰写悬浮体力学的想法。至于是什么原因，他要我看一看Russel、Saville和Schowalter合著的这本书。他说只要你读一下他们的书，就会明白。因为他认为他自己悬浮体力学的书，不可能写得比这三位教授的书更好，因此只好放弃。我看过以后却仍然想不通。作为三位胶体科学的大科学家，他们的书在胶体科学方面当然写得很出色。但是悬浮体力学是另外一回事，它是流体力学和胶体科学交叉的产物。在流体力学方面，那三位教授写的也不可能比Batchelor教授写得更好。真是遗憾，世界上缺了悬浮体力

学一本书，Batchelor 教授对自己真是太严格，太谦虚了。

在读过 Russel、Saville 和 Schowalter 三位教授的《胶体分散系统》后，却使我产生了一个意外的惊喜。原来他们很看重 Batchelor 教授 1972 年单分散沉降理论，和 1982 年 Batchelor 教授和我的多分散沉降理论。他们认为这些工作是胶体粒子沉降理论的重大发展。从而在他们的书中专辟一章，向胶体科学工作者和化学工程师们，详尽地讲述 Batchelor 教授这套沉降理论。普林斯顿大学三位教授的这本书，对于胶体科学在 20 世纪的发展，做了一次十分出色的总结，现在已经成为胶体科学界影响很大的名著。知道了我当年在剑桥 Batchelor 教授那里所做的这点工作，已经载入了胶体科学发展史，在胶体科学的发展史中留下了我们深深的足迹，我感到十分欣慰。

2.5 我的一个额外收获

最后，我感到还有必要提一下 1989 年我那本经由科学出版社出的《微大气物理学导论》。因为它实际上是我在剑桥接受 Batchelor 教授教育所产生的又一个重要成果。两年多来在剑桥所受到的教育，使我打破了对一门新学科诞生发展的神秘观念。既然剑桥的人们在应用基础科学的研究中，可以创造出一门新学科，为什么我就不能呢？回顾我这一辈子的科研工作，我换过比较多的研究课题。最早在大气所工作时搞祁连山融冰化雪，那时就接触过近地面物理学；然后搞人工降雨，这一时期又做了云的微物理学；再就转到为原子弹试验服务，研究过烟团的湍流扩散；然后又转到为激光大气工程研制服务，研究湍流对激光束在大气中传播时的影响；最后来到了剑桥，跟随 Batche-

lor 教授做悬浮体力学。从大气物理学看，它们可以看做是气溶胶力学的基础理论。一共换过五种研究课题。太杂了，每一门都不可能做得太深太广，都不可能单独出书。但是在剑桥的理论创新、学科创新的精神鼓舞下，我冷静地进行了一番分析。虽然表面上看，它们似乎是些互不相干的学问。但是从微尺度大气运动来看，它们却都属于这个尺度运动中的物理问题。微尺度大气运动过去在气象学中都看成是湍流尺度的运动，它们不包括气溶胶力学中的由气溶胶粒子引起的微米尺度黏性流。但是从本质上看微米尺度运动的黏性流，也服从于黏性流体力学，这和湍流是相同的。和大气大尺度运动与中小尺度运动相比，它们都不受地球自转柯氏力的影响，也不受地球下垫面和海陆分布的影响，而是纯黏性流体力学问题，因此我们确实可以把微尺度大气运动的研究扩展到气溶胶微米尺度中去。这样一来，微尺度大气运动的基础就都是典型的纯黏性流体力学，而与地球自身的特点无关。在做了这番分析后，我心里就亮堂了。原来我也可以创造一门新的应用基础科学分支：这就是微大气物理学。它是微尺度大气运动中的物理学的简明概括。于是以黏性流体力学为主线，总结我这一辈子搞过的五门学问，就产生了《微大气物理学导论》这本书。随后在 1995 年又经由气象出版社出版了另一本《概率论和微大气物理学》。1996 年又把其中的气溶胶力学部分，翻译成英文，由新加坡的 World Scientific（世界科学出版社）出版。这三本书的出版就标志着一门新学科分支的诞生。我很高兴，终于我们中国人也可以创造出一门新的应用基础科学分支了。这都是在剑桥 Batchelor 教授教育下所取得的成果，应该再次感谢他对我的谆谆教导。

当然，这并不是一门完全新的学科分支。早在20世纪30年代，著名的英国气象学家Sutton就出过一本《微气象学》，那才是真正的第一本微尺度大气运动研究的开山之作。正是Sutton开辟了人类对于微尺度大气问题的研究。但是Sutton的《微气象学》仅限于对边界层气象的研究，几十年来它几乎成为边界层气象的同义语。这个局限性太大了。对比之下，我们的微大气物理学却可以说是微气象学的一个新发展。这仍然令人十分高兴。此外，我们现在的微大气物理学诞生后的20年来，已经经受住了同行们的检验。20年来它没有受到同行们的否定和批判。相反，却受到了他们的肯定和鼓励。这更令人十分欣慰。微大气物理学之所以能在我手里诞生，应该说完全是我在剑桥所受到的学科创新教育的结果。现在，我终于可以告慰Batchelor教授在天之灵了。

（2011年7月2日开始写于南开园）

（2011年7月8日完成于南开园）

（2011年7月27日编辑并再加工于南开园）

Batchelor 教授的治学思想

——把物理思想注入数学之中

 1 引言

（1）George Keith Batchelor 教授的原话是："To inject physics into mathematics。"当他谈到 inject 一词时，他是充满了激情很用力地说出来的。意味着物理学家要花很大力气，做很多研究工作，才能把物理思想注入到数学中去，从而能够化解了物理学家所面对的微分方程中的数学难点，并进而得到方程的解。还要说明一点，这里讨论的数学是应用数学，不是纯数学。

（2）Batchelor 教授是剑桥大学 1959 年创办的应用数学与理论物理系的创办人和领导人。闻名世界的国际理论物理大师霍金教授就是 Batchelor 的这个系于 1966 年培养出来的。虽然 Batchelor 是当代国际流体力学大师，但是在他所发表的流体力学划时代名著《流体力学导论》上，他所使用的学衔却是 Professor of Applied Mathematics（应用数学教授），而不是 Professor of Fluid Mechanics（流体力学教授）。

 2 应用数学的定义

应用数学教授 Batchelor 对应用数学所下的定义如下：

（1）初看起来应用数学的含意可以表述为：你所遇到的物



理问题中的未知变量可以用一个微分方程来描述，然后你就要采用某一种数学技巧来求解，这就是应用数学的意义。

（2）然而上面的表述含有一个很大的缺点，那就是在上述的表述中它没有提到物理思想，而这正是问题的根本。于是，Batchelor 教授就给出了他自己关于应用数学的定义：要把物理思想注入于数学之中，才能解决问题。这构成了应用数学的灵魂。

（3）本章将讲一讲我自己学习 Batchelor 教授这个治学思想的体会：由于一般物理问题所遇到的微分方程求解难度非常大，其难度远远超过了现有的数学技巧所能解决的范围；所以理论物理学家，也可称为应用数学家就只能根据他所面对的某一个特定问题自身的物理特点来化解数学难点，简化方程从而得到这个特定问题的解。这就是把物理思想注入于数学之中来解决问题的真实含义。

3 三种把物理思想注入数学之中的方法

（1）引进特定的物理模型来化解数学难点。

（2）引进各种近似来化解数学难点。

（3）引进各种变换来化解数学难点。

4 一个例子

下面我们从黏性流体力学的例子讲起。把牛顿力学第二定

律应用于不可压缩黏性流体这样的连续介质，就会得到支配黏性流体运动的著名的 Navier-Stokes 方程（法国著名学者 Navier（1822），英国剑桥大学著名学者 Stokes（1845））。即：

$$\rho\left(\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_j\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\mu\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$$

这是一个非线性的时空四维的二阶的偏微分方程。到现在还没有一种数学方法能够求到这一方程的严格的普遍解。流体力学家就只能按照某一个特定的物理问题自身的特点来开辟求各种特定问题近似解（即特解）的道路。首先是把此方程无量纲化，从而得到一个无量纲的 Navier-Stokes 方程和一个无量纲的动力相似参数——雷诺数 Re。

$$\frac{\partial u_i'}{\partial t'}+u_j'\frac{\partial u_j'}{\partial x_j'}=-\frac{\partial p'}{\partial x_i'}+\frac{1}{Re}\frac{\partial^2 u_i'}{\partial x_j' x_j'}$$

$$Re=\frac{\rho LU}{\mu}$$

5　低雷诺数近似

（1）低雷诺数流，$Re<1$，Stokes 近似，黏性流——线性化了的 Stokes 方程。

$$\frac{\partial p}{\partial x_i}=\mu\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$$

（2）Stokes 小球解的物理模型——化时空四维问题为轴对称的两维问题。

无界空间

静止背景

球形物体

定常的运动速度

球极座标系，原点放在球心，极轴与定常速度重合，边界条件的确定（图 5-1）。

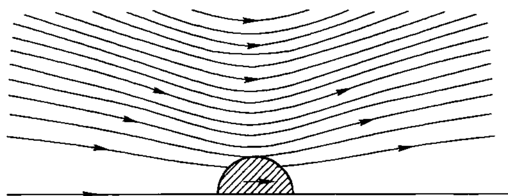


图 5-1　低雷诺数条件下刚性球平移运动中产生的流场

（3）得到严格的运动小球引起的 Stokes 扰动流场的解析解。

$$u_i = U_i\left(\frac{3a}{4r} + \frac{1a^3}{4r^3}\right) + x_i\frac{x_jU_j}{r^2}\left(\frac{3a}{4r} - \frac{3a^3}{4r^3}\right)$$

从而得到介质对小球的精确的 Stokes 阻力公式：

$$D = 6\pi a\mu U$$

进而得到了小球的 Stokes 沉降公式，两千年来自亚里士多德之后第一次定量地解决了物体在重力作用下做低雷诺数沉降的问题。

$$V_S = \frac{2a^2g}{9\mu}(\rho_p - \rho)$$



6　高雷诺数近似

（1）高雷诺数下的无黏性近似，$Re>1$，Euler 方程：

$$\rho\left(\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_i\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x_i}$$

（2）达朗贝尔之谜，Prandtl 的边界层近似。

边界是半无界的平板——化空间三维为空间两维（图 5-2）

背景流场是与平板平形的定常均匀流——化解掉时间一维

背景压力场也是定常均匀的——化解掉压力梯度项

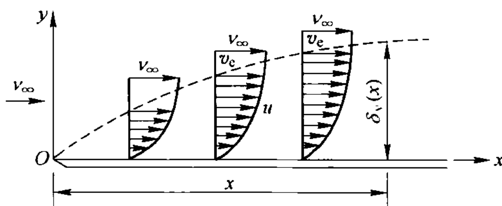


图 5-2　沿半无穷平板的速度边界层

Prandtl 的边界层近似——在平板边界上有一个很薄的黏性边界层，在其中有一个很强的垂直速度梯度，因而使垂直方向的黏应力不可忽略，不管雷诺数是如何之大——由此则应在边界层中建立一个新的边界层方程，在其中黏性应力项被部分地（铅垂方向）恢复，结果得到边界层方程如下：

Prandtl 的边界层方程：

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=\nu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

这里取直角坐标系，原点放在平板前缘，$y=0$ 的平面与平板重合。

（3）Blausius 关于两维自变量的相似变换——化偏微分方程为常微分方程：

$$\eta = \left(\frac{U}{\nu x}\right)^{1/2} y$$

流函数与两维速度场——因不可压缩与两维条件，两个未知速度分量 u 与 v 可由一个流函数来表示：

$$\psi = (\nu U x)^{1/2} f(\eta), \quad u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

流函数中关于未知函数 f 的 Blausius 的非线性三阶常微分方程：

$$\frac{1}{2} f f'' + f''' = 0$$

数值求解 f 的非线性三阶常微分方程后所得到的边界层中速度 u 的分布图（图 5-3）。

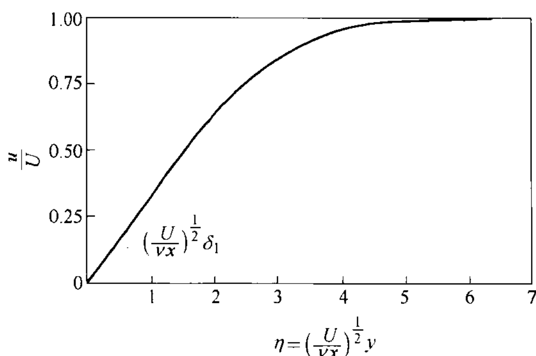


图 5-3　平板边界层中的速度分布

7　湍流

（1）湍流——流体力学中的世纪难题。其难点如下：

1）是超临界的高雷诺数流动，非比一般的高度非线性

问题。

2）虽是高雷诺数流动但弱黏性却处处不可忽略——非微扰问题。

3）三维流动——不可降维的难点。

4）流场的不规则性，随机性——额外增加的新难点。

（2）为克服此新难点，引入概率论的方法求统计矩，先求一阶矩平均流场，雷诺对湍流速度场的分解：

$$u_i = \bar{u}_i + u'_i,\ p = \bar{p} + p'$$

湍流平均速度场的雷诺方程，新难点的产生：方程不闭合

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{P}}{\rho \partial x_i} + \frac{1}{\rho \partial x_j}\left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_i u'_j}\right)$$

不闭合的未知变量——雷诺应力

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u'_i u'_j}$$

（3）Prandtl 的混合长理论——类比物理学中的分子运动论以闭合雷诺方程中的未知变量雷诺应力。

平面均匀（沿流向均匀）的平面流的物理模型以化解仍然存在于雷诺方程中的非线性难点——混合长随高度而线性增加的物理假定——平均风场的对数分布律。

（4）Keller 和 Friedmann 的湍流速度场空间两点二阶相关矩——三维难点大暴露——G. I. Taylor 的均匀各向同性理论的提出以化解三维难点——Karman-Howarth 方程的建立——湍能耗散律：

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_5\right)B_{11} = \left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{4}{r}\right)B_{111}$$

（5）均匀各向同性理论的局限性——Kolmogorov 的局地均

匀各向同性理论——结构函数：

$$D_{ll} = \langle (u_1' - u_1)^2 \rangle$$

（6）均匀各向同性理论的另一局限性，方程仍不闭合——Kolmogorov 的湍流的物理模型——相似参数湍能耗散率——量纲分析法，结构函数的 2/3 定律：

$$D_{ll}(r) = C\varepsilon^{2/3} r^{2/3}$$

一维湍谱的 -5/3 定律：

$$E_1(K) = C_1 \varepsilon^{2/3} K^{-5/3}$$

（7）Kolmogorov 的湍流理论的伟大成就和问题——湍流的间歇性对 Kolmogorov 的湍流的物理模型提出的挑战——新的探索。

（8）G. I. Taylor 对无黏性的三维涡量场实奇点的猜想（1937）——Frisch 的推广到湍流间歇性问题（具黏性的三维涡量场复奇点的猜想）（1980）。

涡度定义

$$\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \boldsymbol{u}$$

Kelvin 定理

$$\frac{\mathrm{d}C(t)}{\mathrm{d}t} = 0$$

$$C = \int \mathrm{d}\boldsymbol{u} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \int_S \boldsymbol{\omega} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}$$

湍流场中涡度的自维持

G. I. Taylor 对无黏性的三维涡量场实奇点的猜想

涡度拟能的计算公式：

$$\Omega_P(t) = \sum K^{2P} |\hat{u}(K,t)|^2 = \sum_{n=0}^{8} A_n^{(P)} t^{2n}$$

速度场的富氏变换的计算公式：

$$\frac{\partial \hat{u}_a(K,t)}{\partial t} = -i\sum_{\beta,\gamma=1}^{8}\kappa_\beta\left(\delta_{\alpha\gamma} - \frac{K_a K_\gamma}{\kappa^2}\right)\sum_p \hat{u}_\beta(p,t)\hat{u}_\gamma(\kappa - p,t)$$

G. I. Taylor 手算——算至时间 t 的 4 次方（1937）。

Van Dyke 计算机计算——算至时间 t 的 8 次方（1975）。

Frisch 等人引入物理学中相变理论里的奇点分析技术 + 计算机——算至时间 t 的 44 次方（1980）。

（9）Frisch 等人的初步成功——进一步论证失败于计算机的功能不够，虽然他们是美国最大计算机的最大用户。

（10）关于湍流间歇性的探索至今仍在继续之中——未来成功的关键仍然在于一个适当的物理思想 + 一个功能强大的计算机。

 8 结束语

（1）应该承认到目前为止 Navier-Stokes 方程的严格的普遍解仍没有找到，覆盖在这一方程下面的全部自然现象，就仍然是个谜。而 Navier-Stokes 方程所能解释的自然现象又仅仅是自然界大海洋中小小的一个水滴。这是一个伟大的谜。对它而言，我们人类是太渺小了。

（2）还应该承认，照我们人类目前所确定的从一个一个特定的物理对象去破解这个谜，这条路子也仍然具有相对普遍的重大意义。从小球的 Stokes 沉降公式到 Batchelor 的胶体多粒子体系的沉降；从 Kolmogorov 的局地均匀各向同性理论到现代激光大气工程的发展；从 Prandtl 的边界层近似到现代航空航天器的研制，人类向宇宙开始了伟大的进军。所有这些给了我们一

个信心：自然界这个伟大的谜是可以化整为零，各个击破，逐步破解逐步逼近的。

（2009 年 8 月 22 日初稿完成于南开园）

（2009 年 9 月 11 日定稿完成于南开园）

（2010 年 4 月 21 日修改于南开园）

（2010 年 7 月 18 日再修改加工于南开园）

（2011 年 7 月 28 日编辑并再加工于南开园）

（注：本文全部图与公式的输入工作都由朱珍华完成）

纪念已故当代国际流体力学大师 Batchelor 教授逝世11周年

1 往事

1.1 没有想到

这事发生在30多年前。1979年10月我第一次走出国门，来到这世界科学圣地——剑桥大学。我们可说是改革开放政策的第一批受益者。事情决定在更早，那是在1978年的夏天，中美两国还没有建交。我们通过了国家的英语考试。组织上决定以公费公派的访问学者身份送我出国进修。我那时在中国科学院安徽光学精密机械研究所工作，研究激光在大气中传输时由大气湍流对激光光束引起的种种湍流效应。这类课题在西方只有美国有。但是，由于那时我国和美国还没有建立外交关系，我就只能选择英国的剑桥大学。抱着试一试的心理，我把我的申请书寄到剑桥大学应用数学和理论物理系主任 Batchelor 教授那里。他是湍流方面享誉世界的大专家，我向他申请研究的课题是湍流的间歇性。1972年我们在长春近地面进行大气湍流对激光传输影响的实验时，发现了这一现象。但是由于当时还处在闭关锁国时代，我们不知道早在1949年 Batchelor 就在风洞实验室中发现了这一现象，并且命名其为间歇性。那时我们自己管它叫湍流的不连续性。以这样的课题来申请到 Batchelor 教授

那里进修还说得过去，安徽光机所的领导也同意了。然而，Batchelor教授已是当代国际上闻名遐迩的流体力学大师，而我却是个学气象的无名小卒。他会接受我这样一个专业既不对口又是个小人物的申请吗？我心中很是忐忑不安。可是没有想到我的运气是这么好，最后他居然接受了我的申请，这使我高兴万分。

1.2 初遇难关

不过高兴很快就转为沮丧，我们在英国驻华大使馆挨了当头一棒。原来他们为了测试一下我们英语的真实程度，把我们这些通过中国科学院和英国皇家学会的协议送到英国来进修的人请到使馆进行了一次测验。这次测验的难度很大，据说比美国的托福难度要大很多。结果可想而知，我们这批刚从闭关锁国的环境里出来的人在那里打了一个大败仗。尤其是我，听力部分就干脆交了白卷。那是两个英国人在聊天，速度很快，声音又很轻，好像在说悄悄话，我一句也听不懂。这是我平生第一次交白卷。我一生一向总能在考试中取得优异成绩，交白卷是我难以承受的事，心中懊丧程度可想而知。现在想来，其实这很可以理解。我那年已45岁，又是在闭关锁国的条件下培养大的，加上学的外语又杂七杂八，小学是学日语，大学是学俄语，只有中学是学英语，培养目标又只是为了阅读，没有学听力，更不要求四会。虽然考试成绩还挺好，特别是在1978年夏天国家英语考试前，我们在中国科大的英语训练班，突击了几个月英语的听说读写，最后能以较好的成绩通过了国家考试。但实际上我们这点英语水平还差得很远，根本无法适应真正的

英语社会。于是英语成了我们执行改革开放出国进修任务的最大障碍。我们怀疑自己还能不能出国。我们的领队是当时在中国科学院外事局工作的翻译马雪征。她安慰我们说："别怕，这次测验只是为了解情况，不是为淘汰人。"测验难度非常大，不要说我们，就是她这个专业翻译也考不好。不要说我们中国人，连英国使馆的秘书英国老太太告诉她，她虽是英国人，但是年纪大了，也考不好。因为这个测验词汇量非常大，速度非常快，要求被测试者不但有很好的英语水平，而且要有很充沛的精力，所以只有她的儿子来才能考好。马雪征叫我们放心，还是安心地准备到英国进修的事。虽然如此，我们这批人还是怀着忐忑不安的心情来到了伦敦。



2 Batchelor 教授"指导"我过语言关

2.1 伦敦的英语学校

到了伦敦后，一些朋友很快发现伦敦有好多英语学校供外国人学英语。他们向我驻英使馆提出请求，请求允许我们花几个月的时间去这些学校学英语，作为过渡，以适应这个英语社会。我当然也提出了同样的申请。大使馆了解我们的情况，马上同意了我们的请求。毕竟过好语言关是我们这批初出国门的人首要的事。然而 Batchelor 教授不这样想，他不同意我在伦敦再花几个月的时间去学英语。他有他的想法，通过他的秘书，把他的意见转达到我驻英使馆。她说 Batchelor 教授了解温某人的情况，认为他没有必要在伦敦再学几个月英语，那是在浪费

时间。温某人现在应该马上参加剑桥这里的工作。她并且说 Batchelor 教授已经把我安排在剑桥的达尔文学院，解决他在剑桥的食宿问题。所以她请大使馆转告我，要我第二天马上到剑桥的达尔文学院报到，然后就到应用数学和理论物理系主任 Batchelor 教授这里来。至于提高英语水平的问题，Batchelor 教授认为那是要通过在剑桥的工作和生活来进一步提高的事。我只好中断了找英语学校进修的事，第二天一早立即赶到剑桥的达尔文学院，办好手续安排好了食宿后就快到中午吃饭时间了，于是我准备吃完午饭下午到 Batchelor 教授那里报到。没想到这时 Batchelor 教授的秘书又来了电话，问我为什么还没有去系里报到。她说 Batchelor 教授已在系里等了我一个上午。我大吃一惊，没想到 Batchelor 教授对工作竟然抓得如此之紧。时间已到了吃午饭的时候，我只好用过午饭下午刚一上班，就到了 Batchelor 教授的办公室。一进门我就先对他表示了歉意说："I am sorry, I am late."（我很抱歉，我来晚了）。这就是我对 Batchelor 教授讲的第一句话。他随口说，还好还不算太晚。接下去我才明白这不是一句客套话。原来他们的一个学术报告会刚刚要开始，我到剑桥后，Batchelor 教授要我做的第一件事，就是立即参加他们的学术活动，他很了解我的英语水平，为了使我能听懂，他把 Hunt 教授找来，坐在我的旁边，报告人一边在上面报告，Hunt 教授在我身旁一边给我讲解。这就是 Batchelor 教授的作风，雷厉风行，一切以工作为第一，一点也不许浪费时间，立即投入工作，而语言则是要通过工作和生活来进一步学习提高。

2.2 Batchelor 教授的"英语学校"

整个剑桥，包括他的系和那个达尔文学院，就是他为我准

备好的一座“英语学校”。他们要求我积极地投身于剑桥的生活之中，在融入剑桥生活的过程中来提高我的语言水平。包括学院和系里的各种 Party（聚会）、报告会，以及每天上午和下午工间休息时，到他们系里的大饮茶室去喝茶（Tea break（工间茶），包括：Morning tea（上午茶），Afternoon tea（下午茶））和剑桥的朋友们聊天，这都是学习语言的良好机会，不可以放过。达尔文学院里没有本科生，都是博士生和博士后素质比较高的年轻人，和他们一起聊天都非常愉快。记得我第一次参加达尔文学院的一个 Party，和这些英国朋友们交谈时，他们说我的英语讲得很好，并表示很惊奇，问我的英语是在哪里学的？我说是在出国前短期突击了几个月学的。他们不信。我可讲的是实话。1978 年夏天突击英语时，我下了很大的功夫“说英语”。我买了一台电唱机和一套英语的灵格风唱盘与教材。那可是纯正的标准伦敦音，我每天都跟着唱盘朗读英语，我的要求很高，不仅要会讲会背，而且在音调、语流、语气上都要和唱盘里的英国人讲的一模一样才行。不仅如此，我还要求自己把这些唱盘里的故事背得滚瓜烂熟，要达到能够不假思索脱口而出的地步。我知道这就是要达到能用英语思维的目标。对我这样当时已是 45 岁的中年人而言，这要求其难度非常大。但我都能置之于不顾，跟着唱盘里的灵格风一遍一遍地学习，又不厌其烦地坚持朗读下去。不管是白天还是黑夜，不管天气有多热。合肥的夏天热得让人难熬，汗流浃背，那时还没有空调，只能光着膀子来背课文。我的宿舍外面是一个露天电影场，一到周末的晚上，大家都聚在电影场，一面乘凉一面欣赏电影。这时外面太吵了，我就把门窗都关上，还拉上窗帘，这就使我更加

汗如雨下，但是我不管它，继续朗读我的灵格风，一遍一遍地坚持读下去。功夫不负苦心人，时间长了以后，果然产生了点效果。有一次我躲在安徽光机所图书馆的书库里背诵我的灵格风。过了一会儿，外面的图书馆管理员小方跑了进来，发现是我在那里学英语，她不禁笑着对我说："原来是你呀！我说书库里怎么会跑出来个老外在说话呢！"听到她这样的反映，我当时心里感到挺高兴，对进一步学好英语有了信心。现在到了剑桥，经过了在英语社会实践的检验，得到了达尔文学院英国朋友们的赞扬，就更增加了我的信心。原来我的英语并不是一无是处，听力确实是我的弱项，但看来我的说英语能力还可以应付这个英语社会。我就更加积极地投身于剑桥的生活之中。有一次，和我住在同一宿舍的年轻人，可能想尝尝中国饭的味道，他们倡议，每个人轮流请客，亲自为大家做饭，每周一次。轮到我做饭时，大家都非常高兴，因为他们终于可以吃上一顿免费而地道的中国饭了。当然我做饭的水平并不高，我不会做大鱼大肉，只会做一些家常菜。但是当我在厨房里忙的时候，一位英国姑娘闻到我的罗宋汤的香味，禁不住跑到厨房里来，要求我允许她先尝一勺。喝过一勺以后，连声称好，要求我再让她喝几勺。等我做完了饭从厨房来到餐厅时，只见大家已经围坐在餐桌旁，对我热烈鼓掌表示了欢迎和感谢之意，那可真是一次难忘的晚餐。除了达尔文学院，系里的朋友们也很热情，经常有人请我到他们家去做客，Batchelor 教授则是在每年圣诞节时请我到他家去过节。总之在剑桥的这两年多的时间，过得既愉快又很有收益，不仅在业务上也在英语能力上。除了这些日常生活的接触外，他们特意地培养我用英语做报告的能力。1980

年，他们请我在他们的大教室做了一个 Formal Seminar（正式的学术大报告会），讲我以前在国内做的云物理。这种 Formal Seminar 他们系里每周五的下午举行一次，由全体流体力学学科大组的老师和博士生们参加。在这次 Formal Seminar 之前他们的博士生先请我在他们学生自己的 Informal Seminar（非正式的学术报告会）上讲了一遍。在达尔文学院也讲了一遍。听起来还可以了，最后才是 Hunt 教授出场。原来他还是系里面流体力学学科大组的负责人，他代表流体力学学科大组邀请我给他们再作一次正式的大报告，有了前两次非正式报告的经验，所以这次做正式的大报告时，场面虽然很大很隆重，但我却很有信心，结果反映很好，报告很成功。1981 年，Batchelor 教授又要我走出去，到华沙和维也纳的两个国际会议登上国际舞台，代表他和我去报告我们的最新的多分散沉降研究成果。这是我第一次登上国际舞台，在准备报告时，他请了一位澳大利亚的朋友来听我试讲，帮我准备好这两次国际会议上的报告。报告果然也很成功，还引起了瑞士苏黎世理工大学流体力学研究所的极大兴趣，他们当场邀请我第二年到他们那里去再做一个一小时的详尽的正式大报告。这一次 Batchelor 教授不再找人帮我准备，在语言上他已很放心，看来我已在他的“英语学校”中毕业了。当然他还是有所指教，他要我在准备报告时要“Practice，Practice，and Practice。（练习，练习，再练习）”。他这个要求我照做了，效果很好。以后我把这个习惯坚持到现在，不光在国外做报告，每次在国内做大报告时，也要先练习几次，做到胸有成竹，心中有数。

1999 年春天，韩国光州理工学院环境工程系的李揆元教授

邀请我到他们那里去进行学术交流。这位教授是美国培养出来的。在美国得到的博士学位，又在美国工作了 20 多年，已经是一位很有成就的气溶胶科学家，是美国气溶胶学会会刊的一位国际编委，在国际气溶胶学术界很活跃。他说得一口非常纯正非常流利的美式英语。在我报告以后他对我讲，我是他所遇到的中国教授中英语讲得最好的人。他也很奇怪，问我的英语是哪里学来的。我如实以告我在国内学英语的经历。他摇摇头，表示不相信这样的经历可以学好英语。我当时也没有办法向他解释清楚。现在当我总结我当年在剑桥过语言关的历程时，我终于弄明白了，原来我还有一个在英国学英语的学历：应该说我还是 Batchelor 教授在剑桥的“英语学校”的毕业生。从这位李揆元教授的反映看，可以说我是“Batchelor 英语学校”的一位基本上合格的毕业生。我确实应该加倍地感谢他对我的帮助和培养；不仅在业务上，而且是在英语语言上。这里在“合格”二字前我加了“基本上”三个字，确有必要。因为直到现在，听力仍然是我的弱项，虽然是有些进步，而说英语也主要局限在我搞的课题。

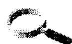


3 Batchelor 教授指导我做研究

3.1 又一次没有想到

在我刚踏入剑桥大学应用数学和理论物理系后不久，在 Batchelor 教授和我第一次的 interview 时，他告诉我他早已不搞湍流了，这又使我吃了一惊。他说他现在搞的是悬浮体力学

(mechanics of fluid suspension, or simply suspension)。由于他看到我的履历上写有我在20世纪60年代初曾搞过一段云的微物理，而且搞得还不错。由于他认为云雾也是一种悬浮体，因此他接受我的目的就是想通过我的云的微物理把他在悬浮体力学的研究成果推广到云物理中去。如果我愿意重新拿起我以前搞过的云的微物理，那现在就有可能在Batchelor教授这里做下去。与此同时他也告诉我，他并没有欺骗我。他说如果我坚持要搞湍流的话，他这里也有人，那就是Hunt教授。并且说到Hunt教授已在湍流领域做出了很好的工作，跟Hunt教授搞湍流也一定会得到好的结果。这真是又一次没有想到。Batchelor教授是世界闻名的湍流专家，为了到剑桥在他的亲自指导下研究湍流，来剑桥前我还专门把他的20世纪50年代出版的湍流名著《均匀各向同性湍流理论》又学了一遍。怎么现在会变成了悬浮体力学了呢？而且老实讲“悬浮体力学”这门学问我当时还是第一次听到，所以更不可能当年在国内向他申请时就会想到，我可以通过我在60年代初的云的微物理来向Batchelor教授现在的悬浮体力学靠拢了。Batchelor教授是一位雷厉风行的专家，他马上给了我他在70年代做的两篇悬浮体力学的文献，并要我学一下他在60年代出的流体力学名著《流体力学导论》。至于云物理学这些年的新进展，他说他们系里的图书室也订有气象学刊物，我可以查阅。此外，他还把我介绍给Hunt教授。Hunt教授对我说他们不搞湍流的基本问题，因此我原来计划到剑桥搞湍流的间歇性课题就只好作罢。Hunt教授说他们搞湍流在大气中的应用——非均匀气流中的大气扩散，并且给了我几篇他们在70年代在这方的文章。然后Batchelor教授和Hunt教授给了

我一些时间学习这些文献再做最后的决定。我马上投入了紧张的学习和查阅文献的工作。一段时间以后我有了可喜的发现：原来我在 60 年代初在云的微物理方面的工作，在我离开云物理后，却在国际云物理学界引发了一场风波。开始的时候以英国久负盛名的云物理学权威 Mason 教授为首的学者们起而批判我们，全盘否定了我们的工作。但后来在 1977 年曼彻斯特大学的 Latham 教授作了一个垂直风洞实验，该实验结果又否定了Mason 教授的主张。此后 1979 年，澳大利亚学者 Manton 等人的工作又进一步支持了我们的理论。在我来到剑桥的那些日子，风向又开始转到我们这边来了。难怪我那点 60 年代初云物理工作，会引起 Batchelor 教授的重视。虽然我那时对他的悬浮体力学了解还很少，但他讲云雾也是一种悬浮体，无疑是正确的。既然他说可以借助我的云的微物理学把他在悬浮体力学的研究成果推广到云物理中来，那跟着他这样走下去总是不会错的。另一方面对 Hunt 教授的文献的学习也有了可喜的发现。原来他是对烟羽在非均匀气流中的扩散有了新的发现。这些发现对以往的均匀气流中的大气扩散理论是一次突破。他的研究结果证明与以往均匀流中的扩散不同，烟羽的宽度可以不随距离的增加而扩大，甚至会有反常的收缩现象。这马上使我联想到了我在 60 年代中期在北京郊区搞过的烟团扩散实验，那时我也曾发现了类似的现象。烟团宽度可以不按照 Batchelor 在 50 年代创造的烟团扩散理论扩展，完全相反的烟团收缩现象会时有发生。当然烟团收缩的机理会和烟羽收缩的机理有所不同，但是借鉴 Hunt 的烟羽非均匀扩散理论，完全有可能创造出不同于 Batchelor 烟团扩散理论的新理论来。于是 70 年代末我在剑桥时就发现了当年

60 年代我在大气所的两个工作都是很有意义很有发展前途的成果，由此就更增加了我在科学事业上奋斗下去的信心。然而当时在剑桥我只是一个人，我不可能分身同时开展两个性质上截然不同又是全新的工作。权衡再三，我只能舍弃了和 Hunt 教授一起发展新的烟团扩散理论的机会，而决定跟定 Batchelor 教授。究竟他才是当代享誉世界的国际流体力学大师，直接聆听他的教诲，必会有更大的收获，机会难得啊！就这样在 Batchelor 教授的强有力指导下，我的研究工作来了一次大转弯，从湍流的研究转到悬浮体力学，从高雷诺数流动转到低雷诺数流动，其道路是通过我从前搞过的云的微物理。事实已经证明这个决定对我后半生的工作产生了深远的影响（当然，Hunt 教授也不是等闲之辈，1995 年我在新加坡参加第六届亚洲流体力学代表大会时又遇到了他，他那时已被任命为英国国家气象局局长。他应邀参加那次代表大会是为了在大会上给亚洲的以及与会的其他国家的流体力学家们做大会特邀报告。老友重逢在新加坡，大家自是非常高兴）。

3.2 悬浮体力学与云的微物理学结合

出乎我的意料，当我同意回到云物理，以向 Batchelor 教授的悬浮体力学靠拢时，他就先向我请教起关于云的微物理的一些 ABC 问题来。他是国际上享有盛誉的大权威，而我还是个不知名的小人物，真不知道他还具有这样“不耻下问”的精神。于是尽我所知向他介绍了云的微物理，告诉他云滴增长有两个基本过程。一个是凝结增长过程，另一个是重力碰并增长过程。前者主要作用在云滴比较小，大致小于半径 20 微米，后者主要

作用在比较大云滴半径大于 30 微米范围，两者之中有一个著名的“大云滴生长沟”。现有的理论很难跨越过去，从而无法解释对流云的阵性降水问题。Batchelor 教授对凝结过程没有表现出兴趣。他感兴趣的是重力碰并增长过程，而这是他从来没有做过的。他当时问我，云的微物理在重力碰并研究中有没有考虑过布朗运动。我说没有，我告诉他，云的微物理中是使用轨迹法研究重力碰并，当然就不可能考虑布朗运动。他断然说不行。这是他多年来从事悬浮体力学研究得出的第一反应。因为在他看来，云雾也是一个悬浮体，而对悬浮体力学的研究已经证明，随机的布朗运动是悬浮粒子运动的基本特征。由此可知，在云的微物理中基本上也不应使用在重力碰并中一贯采用的轨迹分析法，这是第一点。第二点，按照流体力学和悬浮体力学的经验，即使在高 Peclet 数条件下，也可能存在一个边界层。在边界层中，布朗运动有可能不可忽略，这会对重力碰并产生直接影响。为研究边界层的影响，也必须使用粒子对的统计对分布方程方法。这是在 Batchelor 教授的悬浮体力学和我的云物理相结合后，他马上产生的新想法。正是在这种相互切磋中产生了新的灵感火花。看来他在“不耻下问”的过程中，也没有忘记一个理论工作者的基本职责——“西风凋碧树”（此语的确切含意请参见拙著《创新话旧——谈科学研究中的思想方法问题》）。而且作为一个“凋碧树”的大家，他能一下子“凋”到 Smoluchowski 轨迹法的核心问题，尽管他从来没有做过碰并工作。后来的研究表明，当时 Batchelor 的第二点想法不对，因为在边界层里，除了布朗扩散项以外，还有 van der Waals 分子引力项，这一项是产生碰并的主要物理因子。没有它就不可能有碰并发

生。但有了它，布朗扩散项就只好忽略了。因为它是一个趋于0的小量，而 van der Waals 分子引力项却是趋于无穷大的量。尽管如此，Batchelor 教授的第一点想法却无可辩驳被一再证明正确，显示出他作为流体力学一代大师的英明。

后来我才知道，这种虚心向内行人请教，并在相互切磋中抓住新问题以开展一项新工作，是他们推动科研工作的主要方法。回国后，当我继续开展在剑桥还没有做完的碰并工作时，Batchelor 教授则在伦敦组织了一次碰并问题的国际会议，这仍然是为了我们的工作。这种方法与我以前在中国科学院经历过的不同。那时，我们每当要开展一项新工作时，导师总要组织大家（包括导师自己）进行一次系统性的学习。但在剑桥，我没有看到 Batchelor 教授学云物理，也没有看到他学碰并文献；他也没有要我学悬浮体力学及碰并文献。当然在开始时，他曾要我学他的1967年发表的《流体力学导论》并给了我两篇他在沉降和传质上的文献。他和我的交谈，以及他在伦敦组织的碰并会议，实际上，就是他学习碰并以推动碰并研究的方法。他们的图书资料室里经常很少见到人，而同事之间的讨论问题，却时时处处都在。他们的学术交流真是做到家了，除了学术会议和报告会以外，还有大饮茶室的两次工间茶中的交流、在个人的办公室内的讨论，以及个人之间随时随地地讨论等等。这就在他的系里形成了一种非常浓厚的学术气氛，有了这样浓厚的学术气氛，不可能不在那里产生重大的学术成果。

3.3 首战告捷

想法既已确定，下面就应由我来求解对分布方程以实现这

想法。到剑桥以前，我从来没有听说过对分布方程，不知其为何物，更不用说求解这个方程了。对此我不免有些胆怯。这时 Batchelor 教授拍拍我的肩膀对我说，不用怕。他鼓励我大胆地干，并表示他会做我的坚强后盾。这使我有了勇气，走上了这条当时对我还是陌生的路——求解高 Peclet 数下，不稳定系统中悬浮粒子统计对分布方程的征途。

开始的工作还不算太难。经过了一段摸索，我终于克服了求解对分布方程外域解的困难。使用流体力学中的微扰方法，经过努力，我得到了该方程的外域解的解析解。我很高兴，这是我到剑桥后的第一次成功。时值 Batchelor 在 1980 年第一次访华。等他回剑桥后，我向他汇报了此事，他也很高兴，说这个解析解很重要，很有意义。后来我才知道，这主要是指我这个解析解突破了他 10 年来想把单分散沉降理论发展成多分散沉降理论，而始终未能解决的难题，即求稀释悬浮体中统计对分布的难题，现在这个难题被我无意中解决了，在这个解的基础上，加上他的第二次近似——置边界层问题于不顾，他就可以完成他的 10 年来未完成的多分散沉降理论的夙愿，至少是完成了第一步。有关这一问题，我们还将在后面讲道。

但是对我的碰并问题而言，我却不能采用他的第二次近似，置边界层问题于不顾。因为计算碰并率时的积分，是一个球面积分，积分面恰恰在两个粒子相撞时的碰撞面上，这正是边界层的底。显然不解决边界层问题，就无法计算出碰并率。为此，我还得继续前进，去建立边界层方程并求出边界层解。然而在这个问题上，我遇到了一个更大的困难，那就是内外域解相互匹配问题。

3.4 再遇难关

上节讲到我首战告捷求出了高 Peclet 数下对分布方程外域里的解析解，它的内极限是奇点，趋于无穷大。然后，又初步建立了对分布函数的边界层方程。下一步就要求它的边界层解。当时我还只会按以前学过的，老式的 Kármán-Pohlhausen 边界层衔接方法来和边界层内域解衔接。按照这个方法，在边界层顶衔接处就必然会发生解不光滑的问题。对分布函数的函数值本身虽然连续，但函数的各阶导数却不连续，在边界层顶部产生突然转折现象。对此，Batchelor 教授拒绝接受，我很苦恼。后来有一次在大饮茶室喝工间茶时，剑桥的朋友们在闲谈中了解到我当时的苦恼，于是他们向我推荐了美国著名流体力学家 Van Dyke 的名著《流体力学中的微扰方法》。我很快从书店买到这本书的 1975 年修订版。学习以后才知道，在边界层求解中，Kármán-Pohlhausen 的内外域衔接方法现在已经过时，目前人们经常使用的是一个更好的方法，这就是内外域匹配渐近展开法。按照这个方法的原理，要求外域解的内极限和内域解的外极限必须相等。只有在这个条件下，内外域解匹配起来后才会光滑，不会产生突然转折现象。但是如何才能使我的问题满足这个匹配原理呢？显然我不能直接用对分布函数来衔接了，因为它的外域解的内极限是无穷大，无法满足这个匹配原理。经过许多天的紧张探索，在一次夜深人静，我已上床准备入睡而又无法使思维活动停下来。相反，思维活动却是越来越活跃，越来越清晰，突然就找到了答案。既然我不能直接探寻对分布的边界层解。那么，我可以通过一个变换来解决匹配上的困难。亦即 ψ

变换。ψ 的定义是对分布函数和它的外域解的比，这个比在外域显然恒等于1，它的内极限自然也是1，而不再是原来对分布函数外域解的内极限——无穷大。按照这个思路，在内域，我不能再建立对分布的边界层方程而应转而建立变换 ψ 的边界层方程，同时令 ψ 的边界层解的外极限为1，这样导出的 ψ 的边界层解就自然而然地和 ψ 的外域解的内极限相等，从而可以满足匹配渐近展开法的匹配原理。我马上把这个新想法报告给 Batchelor 教授。这一次他终于点头了，称赞地说“good idea!”（好想法!）于是，内外域匹配上的难题就通过引进 ψ 变换而顺利解决了。

3.5 MLB 方法的成功应用

以上的工作在剑桥完成。由于后来在 Batchelor 的建议下，我参加了他的沉降工作，因此碰并工作暂停。直到我 1982 年 2 月回国，才重新启动。这时 Batchelor 和我分别在剑桥和安徽光机所两地，通过通信继续合作。上节谈到我已建立起对分布变换 ψ 的边界层方程，这方程仍然是一个偏微分方程，根据流体力学和悬浮体力学中传质问题上的 MLB 方法（Mises-Levich-Batchelor 方法）有可能把边界层的偏微分方程转化为一个常微分方程，从而得到问题的解析解。这个方法包括了三次变换：流函数 ψ 变换，切向自变量 τ 变换以及相似变换。这方法原来是 Mises 在 1923 年和 Levich 在 1962 年提出的，后来 Batchelor 在 1979 年发表的传质问题论文中，他对此方法又有新的发展，故称为 MLB 变换法。初看起来这方法不能应用到我的碰并问题，因为该方法的第一次变换是流函数 ψ 变换。流体力学告诉我们，

只有速度场是管量场，即它的散度为0时，才有流函数ψ存在。这是应用MLB方法的大前提，而这一前提在碰并问题之中并不存在，因为两个粒子间由重力造成的相对运动速度场，并不是一个管量场，也就是说，它的散度不为0。所以从这一点看，这方法不能应用于我的碰并问题中。然而后来，Batchelor在一次通信中讲到，他已克服了这个难点，找到了应用MLB方法的钥匙。原来，他料定对粒子间相对重力运动速度场乘以某一个待求函数$h(\theta)$后，速度场就可以由原来的非管量场变成管量场，这里θ是极角。他用反推法找到这一函数因子$h(\theta)$的具体形式。他先令速度场乘以$h(\theta)$后的散度为0，由此得到一个常微分方程。解这个方程就找到了待求的$h(\theta)$。此后就一直使用被$h(\theta)$乘过的新的速度场，于是现在我们就可使用MLB方法顺利地把边界层的偏微分方程转化为简单的常微分方程，并得到一个很漂亮的解析解。对此，我不能不叹服Batchelor流体力学水平和数学水平之高超。他不但是善于发现问题的高手，而且也是一位善于解决问题的能人。

3.6 来自Davis的挑战

然而我的对流碰并新理论还没有最后完成，这理论遇到了来自当时美国的一位年轻学者Davis的最后一次挑战，此人是在我离开剑桥后才从美国到剑桥来的。他当时接受了Batchelor的建议，用Smoluchowski的轨迹分析法，检验一下我们这个新的统计理论结果，同时还要研究一下粒子惯性对重力碰并的影响，以此作为Davis在剑桥的博士后论文。果然让他找到了我们新理论中的一个错误。而且他证明给Batchelor看，这错误是致命的

而且无法挽救，只有放弃。Batchelor 接受了他的意见，建议我也放弃这一工作，这工作就被 Davis 一下子枪毙掉了。这封信是在 Batchelor 上次解决流函数难题的那封来信之后，过了几个月才来的。看来，让他接受 Davis 的意见也不那么容易。Batchelor 在这封来信中接着说，放弃这个工作他也很难受，因为他也为此花费了不少心血。但是他接着说，现在他也没有别的办法，既然是无可挽回的致命错误，那只有放弃。接到这封信后我大吃一惊。我好像迎头挨了一闷棍，被人打倒在地。然而我没有服输，而是起而应战。我想，Batchelor 是在国际上久负盛誉的大人物，成果累累，放弃一个成果，对他可能不算什么。然而我却不能，我必须奋起应对来自 Davis 的挑战。经过几天几夜的努力，我终于找到了一个新方案，它可以纠正我们那个被 Davis 检查出来的错误。我把这个新方案报告给了 Batchelor，但是他不接受。他现在有了新的想法，就很难再改变。直到 1983 年 9 月，他应邀在北京举行的亚洲第二届流体力学代表大会上，为大会作特邀报告。我们在北京再次见面了，我向他报告了我得到的最新数据。他仍然不信，不过他表示，当晚他会再仔细地审查一下我的最新数据。这天晚上，我也暗暗地下了决心。准备第二天万一他仍然不肯接受我的新方案，我就向他摊牌。在这种情况下，我就会向他提出要求，要求他同意由我一个人来发表。因为我相信这方案正确。不料，第二天他终于改变了他的想法，接受了我的新方案。这个新方案终于得到 Batchelor 的认可，并于次年 1984 年发表在中文版的《中国科学》上，1985 年又发表在英文版的《中国科学》上。悬浮粒子对流碰并中的一个新理论，就这样诞生了。那么，Davis 向我发出的挑战究竟

是什么？我又如何应对他的挑战呢？

原来，为要应用 MLB 方法把边界层方程从偏微分方程变为常微分方程，需要进行一次相似变换。在相似变换中，人们要把切向坐标变量和法向坐标变量组合成一个新的相似变量，代入原方程后，原来的偏微分方程，就有可能转化为以此相似变量为变数的常微分方程。这种变换不是无条件的，其条件就是要求粒子间重力相对速度的切向分量，在整个边界层中应该是常数。然而实际上它并不是个常数，它是随高度的降低而不断地减少，是一个高度的对数的二次多项式分式，很复杂。这当然阻碍我们在本问题上应用 MLB 方法中的相似变换。对此，我们采取了又一假定，即假定在整个边界层中它可以取边界层底的数值来近似。由于边界层很薄，我们原以为可以做这个近似。但 Davis 的计算表明，当人们对切向速度分量取它原来那个复杂的对数的二次多项式分式时，计算结果与我们这个近似有相当大的误差。误差之大超出了许可范围，不能采用。而如果我们不做这个常数近似，就无法应用 MLB 方法中的相似变换于本问题。也就无法得到那个漂亮的解析解，而只能转而求数值解。而数值解法却是 Batchelor 这位剑桥学派的代表人物所无法接受的。结论就只能是放弃这工作，这就是来自 Davis 的挑战。Batchelor 服了，但是我没有服。我在合肥经过几天几夜的努力，仔细地检查并分析了这个切向速度分量的对数二次多项式分式的变化规律，最后发现这基本上仍和简单的对数变化规律相似。粒子进入边界层后，它的切向速度确实随高度降低而减少，但减少的速率非常慢，只是到接近边界层底时，它才迅速地降到边界层底那个极限值。正因为如此，我们原来以边界层底的切

向速度分量来近似整个边界层的情况，当然就会带来很大误差。然而正是因为有这个发现，我才能提出一个新方案来解决 Davis 给我们出的难题。那就是用切向速度分量在边界层顶的那个值为常数，来近似整个边界层的数值，这符合对数变化的特点，应该不会产生很大误差。同时又使我们仍然能应用 MLB 方法，化边界层偏微分方程为常微分方程并进而得到同样漂亮的解析解。按这新方案计算出的数据表明，这个设想很对。Batchelor 最后也接受了它，Davis 也放弃了他的挑战，一个对流碰并的新的统计理论才得以诞生。

3.7 突破 Smoluchowski 悬浮粒子的碰并理论

新理论第一次在对流碰并领域得到了一个解析解，从这解析解中我们才能揭示出对流碰并真实的物理：当有对流碰并发生时，在参考粒子的表面会存在一个由 van der Waals 分子引力控制的边界层。对流碰并捕获系数新的解析公式说明，捕获系数和粒子在边界层顶的浓度成正比。也就是说，先由对流运动把粒子从无穷远处输送到边界层顶，然后其中的一部分在 van der Waals 分子引力势作用下，为参考粒子所捕获。很显然，Smoluchowski 当年提出的“撞击模型”没有反映出过程的真实物理。新理论的第二个意义在于，它把统计理论第一次伸展到确定论型的对流碰并中来，也就是说，统计理论不但能处理含随机的布朗运动的碰并问题，而且也能处理完全不含一点点随机的布朗运动的对流碰并问题。而这个领域原来是 Smoluchowski 的轨迹分析法所独占的。Smoluchowski 的轨迹分析法，在悬浮粒子的对流碰并领域里统治了将近 70 年，这妨碍了人们对耦合碰

并的研究。然而这障碍现在终于被我们打破了。这就为我后来转到南开大学物理学院后使用统计理论方法来建立重力对流和布朗运动耦合碰并理论，从而再一次突破了 Smoluchowski 两种极限碰并理论的局限性打下了坚实的理论基础。统计理论可以处理 Peclet 数从无穷大到 0 全部范围的碰并问题，从纯确定型的对流碰并经过耦合碰并一直到纯概率论型的布朗碰并。而这是原来 Smoluchowski 的轨迹分析法所无能为力的。

新理论当然还需要进行检验，但这个检验已由 Batchelor 自己做完了。对于重力碰并情况，如上所述，是由他请来的 Davis 做好。当我们把新方案展示给 Davis 后，他对这一方案也表示了肯定，并且在他后来发表的论文中引用了我们的新数据。在他的论文中他承认我们的新理论，对于重力碰并情况和他用轨迹分析法算得的一致。我们的理论也曾应用到由背景流场引起的对流碰并，如轴对称纯变形流场对流碰并。这个例子曾由美国著名胶体科学家 Schowalter 和他的合作者 Zeichner 在 1977 年使用轨迹分析法计算过。他们的数据以图形式发表，直接从图上读取数据则太粗糙。为了能进行精确的检验，Batchelor 打电话给 Schowalter，请他送几个原始的精确数据过来。Schowalter 答应了 Batchelor 的请求，并送了两个有代表性的原始数据给我们。于是我们很高兴地看到，我们的统计理论也和 Schowalter 使用轨迹分析法算得的结果一致。而且符合得比重力碰并还要好。1984 年我到南开大学后，曾指导过天津大学力学系一位研究生林红的学位论文。我建议她的题目，就是把边界层方程中的切向速度分量，不再使用常数近似，而是使用它的本来面目——高度的对数二次多项式分式，进行数值计算，求

数值解。以进一步检验我们那个以边界层顶的切向速度分量来近似整个边界层情况的可靠性。林红的计算表明我们那个近似所得到的解析解与她的数值解一致。以上三次检验说明了新的理论的正确，能够以它为出发点来进一步研究悬浮粒子耦合碰并问题，特别是高 Peclet 数下的重力对流与弱布朗耦合碰并问题。

新理论发表后，得到有关领域的同行关注，为大家所引用。特别值得提一下的是由于这理论阐明了随机事件和必然事件并非相互对立，而是可以相互转化，在一定条件下确定论型问题也可用概率论型的方法来处理。因此它也引起国际统计物理界的兴趣。我们曾在《SCI》检索中发现，在国际统计物理领域的杂志也有人引用过我们这个对流碰并的统计理论。

3.8 参加了 Batchelor 多分散悬浮粒子沉降统计理论的大工程

Batchelor 的 1972 年发表的单分散悬浮粒子沉降理论是沉降研究中的一次重大进展，然而对沉降的统计理论而言，单分散沉降的成功还只完成了任务的一半，它意味着统计理论中的两大难题他只解决了一个积分发散难题；而第二个难题，即求解粒子对统计对分布方程难题仍有待解决，只有解决这一难题沉降的统计理论才算全部完成，才能突破单分散沉降理论的局限，把理论推进到多分散沉降理论阶段。多分散体系普遍存在于自然界和工程领域，真正的单分散系统只有在实验室中采取特殊设备才能制造出来。因此在应用上单分散理论也有很大的局限性，应予以突破建立更普遍的多分散理论。在多分散体系

中，由于粒子大小，成分都不同，在重力的作用下，它们各自的沉降速度也就不同，因此它们之间也就存在相对的重力沉降速度。对分布方程中重力输送项也就不为0，对于这种多分散体系，即使仍假定粒子为硬球，不存在相互作用势，求解对分布方程的困难也不再能回避。只有解决了这一难题，才能建立起多分散沉降统计理论，而这一难题的解决是在我1979年到了剑桥后，在我的协助下 Batchelor 才完成了这第二次突破。

在突破单分散沉降的局限建立多分散沉降理论的过程中，无疑 Batchelor 是主角，我只起了一个配角作用，我的作用不可能更多。因为在我参加到他这个大工程中来的时候，我对沉降的了解还只停留在1851年的 Stokes 孤粒子沉降理论上。尽管如此，这贡献却并非无足轻重。具体地讲，我的贡献有两点：第一，如前所述，我在解碰并问题时得到的高 Peclet 数下对分布方程在外域的一级近似解，这个解也就是在沉降问题中同样的外域一级近似解。这为求解全部沉降问题开辟了一条道路。第二，我承担了 Batchelor 这个沉降大工程中全部数值计算工作。以上两点贡献，相对于 Batchelor 的贡献自然很小，但很重要。尤其是第一点，应该说它起到了关键的作用。前面已指出，从单分散沉降到多分散沉降，必须克服求解对分布方程的难题才行。1976年 Batchelor 虽然对多分散沉降进行了初步探讨，为大家描述了多分散沉降理论的轮廓，但那只能算是一个理论框架，还不是理论的真实内容。因为那时他还未能克服这个求解对分布方程的难题。1979年底我到了剑桥以后，和 Batchelor 一起研究我的工作时，也没有提到沉降工作，只是到了1980年他第一次



访华时，我在研究悬浮粒子对流碰并的统计理论过程中，得到了不稳定系统高 Peclet 数下对分布方程外域的一级近似解，待他回剑桥向他汇报后，才使他想起他 1976 年还未完成的多分散沉降工作，原来沉降和碰并虽是两个不同的课题，所面对的是两个不同的悬浮体系，但这个不同，在高 Peclet 数条件下，仅仅表现在内域边界层上。而对于外域解却完全相同，再加上他当时做出的第二次近似，忽略掉布朗边界层的贡献后，我那个解就成全部区域中的解，放到沉降积分中去，就可得到高 Peclet 数下多分散沉降的统计理论了。可见我那个解在建立多分散沉降理论中所起的作用，确实很关键。然而对我来说，那到是意外收获，是“无心插柳柳成行”。

在有了如上沉降的理论以后，Batchelor 自己又很快得到低 Peclet 数条件下的解，以及粒子大小比 λ 和粒子和介质密度差比 γ 两个参数，趋于两个极端情况（0 和无穷大）下的解。于是多分散沉降统计理论的一个相当完整的体系就此完成了。下一步该进行数值计算。这时 Batchelor 找到我，征求我的意见，问我是否乐意把我手头上的碰并工作暂时停下来，帮他把多分散沉降理论的数值计算工作完成，我当即表示我乐意，这就是上面谈的第二点贡献。第一点贡献是“无心插柳”，第二点却是“自觉自愿”，地选择。这两点对沉降的贡献，使我自己的碰并工作暂时停了两年，但是完全值得，以后的发展，越来越使我认识到，当时自愿暂停两年的碰并帮助他完成多分散沉降理论，意义是多么重大，应该承认这是我在 1999 年获国家自然科学奖成果中被誉为“闪光的 8 个创新点”中，影响最深远，意义最重大，最为光辉的一个创新点。当然，这“光辉”主要是 Batche-

lor 的，我只是“沾了点光”。然而 Batchelor 本人对我这点“光”，也作了充分的肯定，以致在 1981 年 9 月他两次让我代表他和我两人向华沙的流体力学国际会议，以及维也纳的欧洲力学学会第 144 次会议做我们这个多分散沉降新理论的报告。1982 年 2 月他又让我代表我们两人向瑞士苏黎世理工大学流体力学研究所做更详尽的多分散沉降新的统计理论报告。报告后不久，我就结束了在剑桥的高级访问学者（Senior Visitor）的生活回国。分手时，他一再向我表示感谢，感谢我对他的多分散沉降理论的贡献，他说没有我的帮助这一工作不可能完成。

3.9 还有两位外援

谈到多分散沉降理论创新点的诞生过程，还必须讲一下 Jeffrey 和大西善元的重要贡献。前者是当时在剑桥工作的一位科学家，是 Batchelor 悬浮体力学小组的正式成员，后者是来自日本的一位高级访问学者，他在 Jeffrey 那里工作。他们是 Batchelor 在 1980 年访华回来后，被 Batchelor 请来参加这一大工程。使我感到奇怪的是，Jeffrey 是悬浮体小组的正式成员，Batchelor 是这个小组的负责人，又是这个系的系主任，国际流体力学的著名刊物《JFM》的创始人兼主编，当代国际公认的流体力学大权威。按照我们国内通常的做法，把任务布置给 Jeffrey 就是了，没有什么商量的余地。但 Batchelor 却不。他是以一个平等的朋友的身份，用商量的口吻，向 Jeffrey 提出了两项建议，一是参加到沉降课题组来，为之提供有关在双球流体动力相互作用下迁移率数据，另一个是参加到云物理课题组来，还讲到这是一个很有吸引力的课题，因为云滴是非常美丽的球形悬浮粒

子。但最后 Batchelor 却说参加不参加，如何参加，由 Jeffrey 自己考虑。Jeffrey 果然有自己的考虑，他接受了第一个建议，而没有接受第二个。第一个建议他也不是被动式的参加，而是把这一工作发展成他自己另外一个大工程——用他和大西善元发明的双多极展开法，全面系统地完成双球低雷诺数流体力学的计算。Batchelor 和我的大工程只是从他们的大工程中提取了一小部分数据，多分散悬浮粒子沉降统计理论就成为这两个大工程交叉的结果。他们二人为我们提供的数据非常重要，非常关键。众所周知，要想知道在稀释体系中，在双球流体动力相互作用下的参考粒子的平均沉降速度，首要的一环就应知道在双球流体动力相互作用下，流体对参考粒子的阻力。正像当年 Stokes 在完成了低 Reynolds 数孤粒子运动所受流体的阻力计算，才能完成孤粒子沉降速度的计算一样。在 Stokes 那里两件都由他一个人完成，而 Batchelor 这里两件事是分两组人马，由四个人完成，可以想象得出此工程之大之艰巨。虽然我们的工作使用的仅是 Jeffrey 和大西善元的工程中一小部分数据，但他们仍为此付出了大量劳动。原因之一在于 Batchelor 的计划非常庞大，1972 年在完成他单分散沉降理论时，他只进行了一个沉降系数计算，得到了 -6.55 的沉降系数值，而且在那次计算中由于单分散硬球模型的化简，没有必要对对分布函数进行计算。现在（1982 年）这次多分散沉降系数的计算，却复杂得多，即使对没有相互作用势的硬球，它还和 Peclet 数的大小有关。即使仅计算高 Peclet 数和低 Peclet 数两种极限情况，它们仍然是粒子大小比 λ 与粒子密度和介质密度差比 γ 两个参数的函数，是 λ 和 γ 两个连续变化参数所确定的两个沉降系数曲面。Batchelor 只从

中选择了一些代表点，即使这样也有90个沉降系数需要计算，再加上在计算每一个沉降系数值时，还要进行相应Peclet数下，和相应的λ和γ参数下的对分布函数计算。这里的每一个对分布函数，又要在不同距离上计算它的数值，至少十几个点，算起来就有1000多个数据需要计算，工作量已远非Batchelor 1972年单分散沉降计算可以比拟。更为重要的一个原因是，为使计算结果正确可靠，Batchelor研究并确定出好多组渐近线，它们是当λ和γ分别趋于它们各自的极限值时（λ的极限值是0和无穷大），γ的极限值是正负无穷大）沉降系数所应逼近的渐近线。如果没有逼近这个渐近线那就是计算中出现了问题。不是我的对分布函数和沉降系数计算出了问题，就是Jeffrey和大西善元的迁移率计算出了问题。必须把错误找出，加以改正，这就使得我们的计算曾多次推倒重来的原因。是Batchelor严格要求自己“西风再凋碧树”精神的一个生动体现。当然也有找到了问题的原因，可就现在工作水平来看已无法解决的情况。例如在γ等于1时，对于高Peclet数下λ趋于0和无穷大的两个渐近线，当我们减少λ，计算到λ等于1/8时，沉降系数已逼近$\lambda=0$时的渐近线，这个计算可以接受了，可是当时$\lambda\to\infty$的渐近线却都出了问题。我们计算使λ大到8时，其沉降系数还远高于渐近线，没有降下来的意思，检查结果是Jeffrey和大西善元的迁移率计算出了问题。从趋势看λ还要进一步加大，估计要到64、128时才能收敛到极限值，可这已到了Jeffrey和大西善元双多极展开法的极限，不要说64、128，即使把λ从8加大到16，双多极展开法也无法计算下去。因此就只好住手，把问题留给后来人去

解决了。就这样计算工作经历了两年才结束，工作从1980年开始到1982年才发表。而Jeffrey和大西善元他们自己那个双球低雷诺数流体力学的大工程却还没有结束，一直到1984年他们的工作才发表，前后共花了他们四年时间。那一年我不但早已离开剑桥回国，而且也已离开了中国科学院安徽光机所来到了南开大学。为了使我在南开的学生能继续算下去，我给Jeffrey写信，向他索取双球低雷诺数迁移率的程序，他很慷慨，马上就把他们全部程序都拷到软盘上给我寄来，并在来信中告诉我，这些程序较之我们1982年沉降工作中所用的又有了好多改进。精度提高了许多。看来Jeffrey也是用同样的精益求精的精神对待自己的工作。剑桥人的精益求精的精神真是令人敬佩啊！

Jeffrey还有另外一个贡献是直接对我个人的。1980年当我答应了Batchelor对我的建议，帮他完成多分散沉降的数值计算工作时，我告诉他数值计算方法，计算机程序设计这方面我以前没学过，需要一段时间进行学习。他告诉我，他也没学过，也不懂怎样编程序怎样进行计算。他建议我去找Jeffrey，请他帮忙。这又使我很吃惊，他是应用数学和理论物理系的创始人兼系主任几十年至今，怎么会不懂计算方法，程序设计。又怎么敢居然在一个外国人面前承认这一点，他完全可以不提此事，而直接以他很忙为理由去建议我找Jeffrey。现在看来，老老实实，不怕丢面子，不懂就是不懂，绝不装懂，这正是一个真正的科学家本色。Jeffrey很热情地接受了Batchelor的这个建议，他不仅是一位低雷诺数流体力学专家，而且是一位相当熟练的计算数学专家。他帮我找来一本讲Fortran计算机语言的

书。当我学了这本书前几章并准备开始做书上的一些练习题时，他提出了新建议。要我避开书上的练习题，直接从我自己的工作开始。Batchelor 的庞大计算计划，执行起来当然要设计出一个庞大复杂的程序。Jeffrey 告诉我，不要一上来就企图编制这个庞大的程序，而要把它分解开来，逐步分解成小的单元。先编制其中的一个比较小的子程序开始，以这简单的子程序作为你的第一道练习题，然后再逐步加大，增加更多的子程序。最后就可以组装成符合工作需要的大程序了。这种单刀直入，越过做书上练习题阶段，直接从工作开始的方法，很符合我们在国内常讲的"边干边学，在干中学"，很有道理，我欣然接受，比较快地进入工作阶段。编制计算程序，对于我这样一个初学者而言，难免会发生错误，开始时寻找错误还不算难，但随着程序越编越大，越来越复杂。出现了错误就越来越难查找了。计算机很听人话，程序中只要随便在哪里出了一个技术性错误，它就会按照这个错误的指令执行下去，直到满盘皆错。可又很难找到错在何处，真让人着急。这时 Jeffrey 又来告诉我，要冷静，不要泛泛地查，对于这种复杂而又庞大的程序，出错时，应把最容易出错的地方先抽出来打印一下，这样逐段逐段地打出来查找，就容易把错误之点找出并予以纠正。这方法果然很好，于是工作逐步地引向正轨，引向深入。20世80年代初期的剑桥还没有进入微机时代。整个剑桥的计算工作，由设在计算机系的计算中心控制。该中心拥有巨型机，那是一个真正的计算中心。在各个系都设有相应的终端。在我们的应用数学和理论物理系里就设有好多个终端，安放在系里的一个大机房里。机房里又有三个房间，供全系

师生使用。为了避开白天的拥挤，我们经常在夜间工作，一直到深夜。有一次为了查出一个隐藏在很深地方的一个错误，竟然工作到凌晨 3 点。当最后终于把这个错误揪出来并予以改正后，那时的心情愉快非常。就这样，在这个机房里工作了将近两年，终于把计算任务完成。努力结出了硕果，我最后算出的数据终于通过了 Batchelor 各种渐近线的检验。Batchelor 的这个多分散悬浮粒子沉降的统计理论就这样诞生了。

3.10 影响深远

Batchelor 教授和我的这个多分散沉降统计理论，从一开始就显示出它的魅力，引起国际同行的浓厚兴趣。在它正式发表前 Batchelor 就委托我代表我们两人先后在波兰 1981 年国际流体力学会议上和维也纳欧洲力学学会第 144 次会议上报告，并受到苏黎世理工大学流体力学研究所的邀请，1982 年初还是由我代表专程到他们那里花了一个小时讲述我们的这个复杂而艰深的理论。在这一工作正式发表后，该理论又经历了更广泛的国际同行从不同方面对这一理论进行的检验，而最终确立了它在相关国际领域中的地位，发挥着广泛而深远的影响。其中最重要的是 1988 年和 1992 年它两次分别在高 Peclet 数和低 Peclet 数条件下的沉降系数计算，为两组不同的美国的实验胶体科学家的实验数据所证实。并先后两次载在国际胶体科学发展史上。一次是美国普林斯顿大学三位著名的胶体科学家 Russel，Saville 和 Schowalter1989 年所著的《Colloidal Dispersions（胶体分散系统)》，另一次是在德国著名的胶体科学家 Dhont 于 1996 年所著

的《An Introduction to Colloidal Dynamics（胶体动力学导论）》。特别是 Russel，Saville 和 Schowalter1989 年的那本名著，它对沉降问题还专门辟了一章来详尽地讲述 Batchelor1972 和 1982 关于单分散和多分散悬浮粒子沉降的两个统计理论，并把我所计算的数值结果引入于该书，同时把相应的实验数据点在计算曲线图上，说明两者基本相符，理论可信。从那时起又经过去了 20 年，这工作不但没有被人忘记，反而越来越显示出它的强大的影响力。现在每年从国际科学文献索引《SCI》系统中，总会检索出好多篇国际同行在 SCI 系列科学刊物上引用我们 1982 年沉降理论的文章，所涉及的学科范围很广，有发表在物理、化学、流体力学、胶体科学等基础学科领域的学术刊物上，也有发表在应用研究和各种各样的工业技术上的学术刊物上，说明 Batchelor 教授和我的这一多分散沉降理论已成为这一领域中国际公认的经典理论，展现出它的强大的生命力，成为我在 1999 年获国家自然科学奖的成果中被誉为“闪光的 8 个创新点”中最为辉煌的一个创新点。当然这个创新点的主要发明人是 Batchelor 教授，我只不过是他的一个助手。然而，物体在地球重力作用下的沉降问题是人类理解自然历史中的一个非常重要的永恒课题，在这个研究历史长河中，记载着两千三百年前的亚里士多德，中世纪的伽利略，近代的牛顿以及 19 世纪的国际流体力学大师 Stokes 等科学巨人的光辉名字；而 Batchelor 在 1972 年和 1982 年的这两个成果，则是人类理解重力沉降现象历史中在 20 世纪下半叶出现的又一座新的光辉的里程碑。能够有机会成为他的助手，帮他建立起这样一座光辉的里程碑，我感到无比荣幸和自豪。证明我当年在剑桥的选择完全正确。



4 Batchelor 教授的为人和作风

4.1 Batchelor 教授的作风特点

和 Batchelor 教授工作和生活短短的两年多来，对他的为人和作风有了一些粗浅了解。现归纳如下：

平易近人，实事求是；

奋力拼搏，科学的方法；

灵活的战术，坚定的方向；

“凋碧树”的大家，“再凋碧树”的巨星。

下面我们从几件小事来看 Batchelor 教授的这些作风特点。

4.2 称呼问题

称呼问题是在我和他第一次 interview（会面）时就发生了。当时我称他为：“Professor Batchelor!”这很平常，通常在国内我们在和一位教授谈话时，就是这样讲的：“张教授!”或者是：“李教授!”如果对方是位学问很大，水平很高的长辈，则更应称呼为：“张先生!”或者是：“李先生!”（这里“先生”二字是高校和学术界对长者的尊称，与一般社会上讲的：“某先生，某女士”不同。）不料，Batchelor 却很不高兴地纠正我说：“不要这样叫我，今后你对我讲话时，请直呼我的名字：‘George!（乔治!）’就行了。”这顿时使我诚惶诚恐。我说：“这怎么行?! 在我们国内，直呼其名只有长辈对晚辈才行。至于平辈，只有是很亲密的平辈才可以这么称呼。至于学生对老师说话在

我们国内是绝不可以直呼其名，这是对老师的大不敬，是犯错误的行为。”但他却很坦然地对我说：“那是在你们中国，而现在，你是在我们剑桥，得按照我们的规矩行事。”我就只好“入乡随俗”了。而且确实后来我发现系里的人，不论是老师，还是研究生，博士生，大家在谈起他时都是讲，“George 如何如何”，从来没有人讲“Batchelor 教授怎样怎样”，我自然而然地也就随大溜了。

4.3 Batchelor 教授这样和一位博士生交谈

这件事发生在应用数学和理论物理系办公楼一楼的大饮茶室。有一天在工间茶时间，许多人都到这里来喝茶，所有的座位都坐满了。这时 Batchelor 走了进来，在柜台上买好了他的一份饮料后就来到饮茶室的大厅里。奇怪的事是没有人让座，他就站在那里端着他的茶杯静静地喝。后来他发现了一位博士生，他有话要和这位学生交谈，于是就走到了这位同学面前和他交谈起来。使我惊讶的是这位同学在这种情况下仍然没有让座，他就坐在那里和站着的 Batchelor 教授侃侃而谈。更让我吃惊的是在他们两人谈着谈着的过程中，忽然 Batchelor 教授掏出了一个小本子要记点什么，这时 Batchelor 就把他的杯子放到身旁的小桌子上，一只腿跪了下来，然后把小本子放到自己的膝盖上写了起来。就是在这样的情况下那位博士生居然也没有让座，而是很坦然地坐在那里眼睁睁地看着 Batchelor 教授跪在自己的面前写字。这太不可思议了，这种事若是在国内根本不可能发生，否则那位同学会受到谴责的。而在剑桥这里却发生了这样的事，并且竟然也没有人站出来批评



这位同学。此事于是就深深地刻印在我的脑海里，至今难以忘怀。

4.4 Batchelor 教授这样对下属布置工作

本节前面谈及 Batchelor 教授在安排 Jeffrey 和我参加到他那个多分散悬浮粒子沉降大工程里时就已指出，他不是以一个上级对下级下指示下命令的方式来布置工作，而是以一个平等的朋友的身份来向对方提出建议。当他向我提出这一建议时他甚至使用了一个非常客气的提法："Are you willing to do this work?"，这里他使用了"willing（乐意）"一词，而不是通常的问话："Will you?"或"Would you?"。这使我感到非常意外。言外之意 Batchelor 是认为我可以不乐意，在那样的情况下我就完全可以不去执行他的指示。这怎么可能呢？不执行导师的指示那对我们而言是绝对不可以的事。回想起"文革"前我在中国科学院工作时，那时的领导要求我们："专家的意见，就是党的决定，大家要坚决执行。"对比这两种在科学研究中的不同的上下级关系，两者之间真有天渊之别啊！Batchelor 有一次谈起他这样做的原因。他说：理论工作是一种高强度的思考工作，这种情况只有在思考者自觉自愿时才会发生。当他没有自觉时，你就是整天在他身旁不停地说："Thinking! Thinking! Thinking!"（思考！思考！思考！）那也不会奏效，这时的思考者就不可能真正开动起他的脑筋来思考。因此，Batchelor 教授有一句名言："Maximum freedom in the hands of good people!（要选好优秀的人才，然后给他以最大的自由）。"Batchelor 教授对他下面的人布置工作时的做法，正体现出他在领导这个理论物理系时的指导

思想，此事我们还将在后面提到，当然，领导者除了选好人才以外也不是完事大吉无所作为，放任自流对于学术单位的领导者也是不能允许的。Batchelor 教授的领导思想的另一方面就是：在日常工作中，建立起并组织好制度性的高频率高水平的学术活动，这是一个学术单位领导者调动下属人员思考学术问题积极性的一个基本方法。Batchelor 教授甚至把组织这种类型的学术活动提高到一个学术单位领导者的基本职责上来。这都是一些很重要的问题，我们将在本文后面再度提到它。

4.5 实事求是两例

本节的实事求是是指对自己的估价问题。这方面的两个例子前面已经提到过：第一个例子是：他不隐瞒即使是在自己的学术领域里还有他不懂的东西。当我向他求教计算数学和编制计算程序问题时，他不怕向我坦承他也不懂计算数学和编制计算程序，这对一位应用数学和理论物理系的创办人和领导人而言是十分难能可贵的。另一个例子就是他也敢于肯定自己的成就，谈到他自己的成就时，一点也不扭捏作态不好意思。当他知道我以前只在20 世纪50 年代北大上学时，学过一点苏联学者库兹涅佐夫为工科大学生写的流体力学教程的时候，他断然向我提出，这不行。以这样一点流体力学的基础，是无法胜任我当时在剑桥的工作的。为了能跟上时代的发展，我必须学他在1967 年写的《流体力学导论》。在我学了以后才懂得他这本书确实是流体力学教科书领域里一个划时代的新发展，这已有国际上的公认。大家都承认 Batchelor 教授的这本书是每一位现代流体力学工作者必读的参考书。孔夫子说过："知之为知之，不



知为不知，是知也”。能够做到这一点是很不容易的事，特别对于一位学术大家而言。可是 Batchelor 教授却能做到这一点。在和他有关的知识领域，他既不神化自己，也不矮化自己，他才是一位在流体力学上有真知的学术大家。

4.6 奋力拼搏，分秒必争

本文开头讲到我初到剑桥时他要求我马上参加他们系里的学术活动，这件事说明 Batchelor 教授要求在他那里工作的人员必须不浪费一分钟时间，分秒必争地投身于工作。实际上他对自己也是这样严要求。他每日的工作日程都排得满满的，几乎每天都要工作到下午 7 点左后才下班。那时天都已经黑了，他的办公室在系办公楼的三楼，每天晚上他下班时，出了他的办公室后他就一路关上楼道的照明灯，一直关到电梯处，因为 Batchelor 教授相信这时系里的人早就下班了。你什么时候看到楼道里一片漆黑，那就是说 Batchelor 已经下班。另外，我们初到剑桥时，国内还是六天工作制，但剑桥已是五天工作制了。可是每到星期六第一个休息日时 Batchelor 却仍然到系里来工作，此时全系已经空空荡荡没有什么人了。只有 Batchelor 还在他的办公室工作，当然在这样的情况下，他的秘书也会来上班。除此之外，悬浮体力学组的一些骨干老师有时也会来。显然整个系里 Batchelor 的这个课题组是最勤奋也是最辛苦的。最令人感动的是圣诞节前夕的平安夜。这相当于我们的阴历年的除夕。在 1980 年平安夜的晚上，我从大街上走进应用数学和理论物理系的院子里向系办公楼看去，只见大楼一片黑暗，大家都早已回家和家人团聚过节去了。然而还有一间办公室的灯光通明，

那就是他的办公室，Batchelor 还在工作，这真感人！他那时已年过 60，但还是这样拼搏不已，他才真是“春蚕到死丝方尽，蜡烛成灰泪始干！”记得也是那一年，由于我早已从《世界名人录》上查到了他的生日，于是早就准备好了给他的生日礼物，那年刚好是他的 60 大寿。我在他生日的那一天把礼物送给了他。没想到他接过我的礼物连声称谢后又说了一句：“我的生命又少了一年。显然，留给我的时间不多了，我应该更加抓紧工作才是！”这真使我又吃了一惊。我感到非常意外，在国内生日是喜事，60 大寿更是个应该大大庆祝的喜庆日子。没想到，对 Batchelor 教授而言，大喜的日子竟变成了如此伤心的日子。从此以后，我就再也不敢在他生日时给他送生日礼物了，免得再引起他的伤感。

4.7 科学的工作方法

在学术问题上，光有拼搏精神还不行，还得有正确的工作方法。Batchelor 教授曾经讲过，所谓理论物理，就是指用数学方法解决物理问题的一门学问。然而可惜的是数学家并没有为物理学家准备好求解各种物理方程的灵丹妙药。怎么办呢？一个办法是求方程的数值解。可数值解常常使人看不出过程的物理本质，就谈不上是理论。于是最好是求出方程的解析解，只有解析解才能使人们看清该过程的物理本质。在这方面，Batchelor 教授就提出了他自己的求解析解的办法。也就是他常说的：“要把物理思想注入于数学之中才能解决问题（To inject physics into mathematics!）”。这是他治学经验的结晶。在我 2005 年出版的《创新话旧——谈科学研究中的思想方法》一书中，我已经

总结出三种方法，这三种方法都可以把物理思想注入数学之中以化解数学难点最终求出解析解的途径。即：建立好物理模型以化解数学难点；引入各种近似以化解数学难点；引入各种变换以化解数学难点。以上这三种方法的基础都是要对所面临的物理问题有高超的物理洞察力，而 Batchelor 教授正是这种以高超的物理洞察力来驾驭这三种方法以求解数学难题的大师。感兴趣的读者，可参阅我在 2005 年出版的那本书，此处不再重复。

4.8 灵活的战术，坚定的方向

Batchelor 教授搞研究当然有他的计划，但他并不拘泥于原定计划，相反，他的灵活性非常大。本文前面讲的我刚到剑桥时，他和我最初商定的研究布朗运动对悬浮粒子的重力碰并影响问题，就是一例。那时，他并没有和我谈起以后还要做多分散悬浮粒子的沉降问题。只是到后来，他看到我求出了高 Peclet 数下对分布方程的外域解后，他马上看出这个解可以解决高 Peclet 数下多分散粒子的沉降问题。此时他就断然建议我把原来的碰并问题停下来，而改做沉降问题。结果完成了这个原定碰并计划外的沉降大工程。此外，在更大的研究课题上他也是如此。20 世纪 40 年代后半段，他从他的家乡澳大利亚来到剑桥，师从那个时代的国际流体力学大师 G. I. Taylor 搞湍流研究。后来他果然在湍流研究中做出了出色的贡献，20 世纪 50 年代就出版了湍流领域的一本经典著作《均匀各向同性湍流理论》，影响深远，成为享誉世界的又一位湍流专家。然而到了 60 年代，他却突然停止了这方面的研究，而转向流体力学的教学，在此基础

上于1967年出版了他的《流体力学导论》，此书也就很快地成为在国际上影响力很大的新一代的流体力学教科书。但是从70年代起，他又把他的方向转到了另一个方面：悬浮体力学，它是流体力学和胶体科学之间的新兴的交叉学科。在这个新领域又能很快地做出了杰出贡献。从湍流到悬浮体力学，对象就从高雷诺数流动转向低雷诺数流动，这是又一次的大转弯。看来，Batchelor教授就是在流体力学这个大海里“自由地”游来游去，而到处都能得心应手。尽管Batchelor教授在具体课题上有转来转去随机应变的作风，但他在研究大方向上却坚持有三个不变。第一，始终不离开流体力学的主体。他可以向胶体科学伸展，他也可以向云物理学伸延，但万变不离其宗，他始终坚持以流体力学为主。第二，始终不离开概率论随机过程论这个数学工具。从湍流到悬浮体力学，看似大转弯，研究对象从高雷诺数流动转向低雷诺数流动，但实际上数学工具概率论随机过程论却仍然不变。这他在搞湍流时就已打下了很好的基础。第三，不离开实验能精确检验的课题。悬浮粒子的碰并和沉降是悬浮体力学的两大课题。两者都很重要，而前者更是胶体科学的中心。但是对这一课题，他只和我搞了一次对流碰并新的统计理论以后就再也不搞了。然而沉降问题Batchelor从1972单分散沉降到1982多分散沉降前后竟然搞了十年。为什么？我想原因之一就是因为沉降可以精确测量，理论可以受到严格的实验检验。而碰并，由于测量上的困难，至今它只有定性的实验检验。因此Batchelor对它的兴趣就不大了。而且果然，他在悬浮体力学上其他的几个理论成果，都是能由实验严格定量检验的课题，而且果然都得到了实验科学家的实验证实，很了不起。可以说，

正是他在研究大方向上坚持了三个不变，在具体研究课题上又能灵活掌握随机应变，这才造就了他的成功之路，使他成为 20 世纪下半叶新一代又一位国际流体力学大师。

4.9 “凋碧树”的大家，“再凋碧树”的巨星

所谓“凋碧树”即是我在《创新话旧——谈科学研究中的思想方法问题》一书中谈到的“西风凋碧树”的境界。就是说在基础科学理论领域中工作的人要做“西风”。他必须要对现有的理论有批判的能力，要善于发现现有理论中的问题。所谓“再凋碧树”即是我在同一本书中谈到的“西风再凋碧树”的境界。就是说一个理论工作者还必须要有批判自己的理论成果的愿望和能力，他不仅要善于发现别人的问题，也要勇于并且善于发现自己理论中的问题。我在本文前面谈到的 Batchelor 在听到我第一次向他谈起 Smoluchowski 的碰并理论时，就能敏锐地指出 Smoluchowski 碰并理论的问题，说明他确是在理论工作中的一位“凋碧树”的大家。而在本文前面讲到的他请来 Davis 检查我们这个当时还没有正式发表的碰并新理论中的问题，就说明他也是理论工作中的一位“再凋碧树”的巨星。在研究工作中达不到这两个境界就无法在国际上赢得人们的尊敬，赢得国际公认的权威地位。当然，还有一种情况，那就是自己的“碧树”，被别人的“西风”给“凋”出问题来了，怎么办？这里，Batchelor 也有一个很好的例子。那就是他的多分散悬浮粒子沉降的统计理论。1982 年，在他于 50 年代创办并一直主编的著名的流体力学刊物（J. Fluid Mechanics《JFM》）上发表后发生的事。没有想到第一个来检查这个多分散沉降理论的竟然是

自己人，是 Batchelor 的悬浮体力学小组的 Hinch 和 Raillison！这两位朋友自己的课题并不是沉降，他们之所以要检查 Batchelor 沉降的理论正确与否，是因为他们的研究要用到这个 Batchelor 和我刚完成的沉降理论中所提供的数据。他们并不因为 Batchelor 是个久经考验的国际公认的大权威，并且是自己的顶头上司，就放弃自己的独立思考。他们是用同样的“西风凋碧树”精神来对待自己的顶头上司 Batchelor 的成果。只有经过他们自己检验证明是正确的，他们才采用。这就是剑桥学派的作风。他们采用另一种方法重新推导了 Batchelor 多分散沉降的理论，果然让他们发现了问题，这问题不是出在我的计算工作，也不是出在 Jeffrey 和大西善元所提供的迁移率数据；令人十分遗憾的是，这问题竟然出在 Batchelor 自己身上。原来 Batchelor 在推导低 Peclet 数沉降系数计算公式的过程中，有一项的符号弄反了，导致低 Peclet 数沉降系数计算结果全错。当然，这是个技术性的错误，不是概念性的错误，纠正它并不困难。这两位剑桥的朋友把这个结论显示给 Batchelor 看，Batchelor 看后承认了自己的错误，并在第二年，1983 年在同样是由他自己主编的《JFM》上发表了一篇纠正自己错误的短文。在这篇短文中，他坦白承认自己在《JFM》上发表的多分散沉降理论中，关于低 Peclet 数下的沉降系数的计算公式有错，并在该文中给出了纠正错误以后正确的新结果。这个教训是深刻的，它说明人类认识客观世界理解客观世界是一件十分复杂十分艰巨的事业。在这个事业中，不管你是多大的权威，也不管你对自己的工作多么的小心谨慎，也难免会犯错误。出了错误应该怎么办，这里 Batchelor 教授提供出一个范例：那就是及时地公开地承认错误，在什么地方出

的错误，就在什么地方公开地纠正，一点也不隐讳，这仍不失为一个大科学家的本色，特别值得基础科学领域的权威人士们学习。事实上一个学术权威能迅速地公开地承认并改正自己学术上的错误，这不但不会影响到他的威信，反而会更能增加同行们对他的尊重和热爱。反之，则既得不到同行们真正的尊敬，也得不到同行们真正的爱戴，只是遗憾地损害科学事业健康正常地向前发展罢了。Batchelor 教授在这个问题上提供的范例恰恰能很好地说明这个道理。正是由于 Batchelor 能够及时公开地纠正了自己的错误，就仍然能赢得这个领域国际同行的承认，并使自己的名字仍然能载在人类理解地球重力沉降现象光辉的历史之中。1983 年 9 月，他应邀参加了在北京举行的亚洲第二届流体力学代表大会，并在大会上作了沉降问题研究进展的特邀报告。报告受到与会代表的热烈欢迎。大会同时还邀请了几位来自美国的著名流体力学家向大会作特邀报告，他们的报告也同样受到热烈欢迎。然而从他们各自所受到的来自大会的各国代表的闪光灯照相照明来看，很明显地还是以 Batchelor 教授为最。在他报告的过程中，从始至终就不断地从大会的各个角落里，与会的各国代表们都把他们的照相机镜头对准了 Batchelor 教授。在 Batchelor 教授作报告时大会会场始终是一片耀眼的闪光灯灯光，这充分表现出国际同行们对 Batchelor 教授的深切爱戴。机会难得，难得这位国际流体力学大师能亲临那次盛会给大家作报告，与会的各国代表都不想丢掉这个好机会，要把 Batchelor 教授的身影留在自己的相机里，以作永久的纪念。事实证明他是那次出席大会的最耀眼的明星！报告后，我向他说了我的感受，我说："你才是今天大会上真正的 Star!"他有点

不好意思地笑了。

5 Batchelor 教授如何办学

5.1 Batchelor 教授和我们座谈

这件事发生在 1981 年 5 月 12 日下午两点半，在剑桥大学应用数学和理论物理系主任 Batchelor 教授的办公室。参加的人有邓述慧：她是当时在英国访问的中国科学院的一位领导；何国纬：他是当时我驻英使馆在科教方面的一位负责人；崔长庚：他来自中国科学院物理研究所，当时在剑桥大学的材料科学系里进修；贾复：他来自中国科学院力学研究所，当时也在 Batchelor 教授的这个系里进修。再有就是我自己，我当时是从中国科学院安徽光机所到 Batchelor 教授这儿来进修的。座谈会的目的是想请 Batchelor 教授向我们谈一下他的办学经验。Batchelor 教授答应了我们的请求，并且热情地接待了我们。他很详尽地介绍了他的办学经验，回答了我们的问题。没有想到他的兴致很高，在他的办公室谈完了以后，又亲自率领我们参观了该系的实验室。在剑桥的两年多来，我们还从来没有看到他亲自接待外国代表团，何况我们也不是一个正式的代表团，结果他竟为我们的到访花去了他 3 个小时的时间，到五点半才结束。考虑到 Batchelor 教授是一位惜时如命的大科学家，这真是不简单的事啊！充分地表现出 Batchelor 教授对中国人民的友好感情和对中国科学研究事业的极大热望！可惜的是我们的录音机没有弄好，录音效果很差，大部分过程都没能录下来。后来只有由我

和贾复根据我们各自的记忆与了解，分别写成了两份报告材料。这里主要是根据我当时写的那份报告材料，同时也参照了贾复的报告材料，向大家介绍我们那次访问 Batchelor 教授的主要情形，以供大家参考。

5.2 Batchelor 教授的另一事业

Batchelor 教授是一位很全面的大科学家。他不仅是位搞学问的大家，而且也是位搞事业的能手。在他的一生中，除了他在悬浮体力学和湍流研究上的杰出贡献外，他在组建科学事业上也有两项杰出的成就。其中之一，就是前面已经提到过的，20 世纪 50 年代他所创办的并一直连任主编到他退休为止的《流体力学杂志》。到我们访问他时才仅仅 20 多年的工夫，就使这一学术刊物迅速地从无到有发展成国际流体力学界举足轻重的刊物。第二个成就就是我们现在要谈到的他这个系。原来剑桥大学虽然是一所有几百年悠久历史的著名学校，但是他这个系却很年轻，说起来比我们的共和国还年轻 10 岁。是 Batchelor 教授一手在 1959 年把这个应用数学和理论物理系（D. A. M. T. P, Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics）组建起来并一直连任这个年轻的系的系主任到他退休为止。也就是说在我们访问他时，这个系才有 22 岁。时间虽不长，但这个系却已在国际力学界特别是国际流体力学界以及国际理论物理学界占据了一个相当显赫的地位。举世闻名的国际理论物理学大师霍金教授（Professor S. W. Hawking），就是这个系一手培养出来的。原来霍金教授是 1966 年才在这个新建的系里取得了博士学位，然后就留在该系工作。短短十几年的工夫，霍金教授在天

体物理中黑洞理论上的学术成就，使得他在国际物理学界已经赢得了很高的赞誉。当时我们听说，霍金教授在黑洞问题上的理论，如果能得到实验证实的话，他的名字将可以和爱因斯坦并列。因此，可以说该系在培养霍金教授上的成功是 Batchelor 所创办的这个系在培养人才方面取得的最为辉煌的一个成果。此外，Batchelor 教授的这个系还聚集起了一大批各门学科的精英。这个系不大，正式成员才有 30 人。但其中拥有英国自然科学领域中最高荣誉称号 F. R. S.（Fellow of Royal Sociaty，直译是英国皇家学会会员，意译可译为英国皇家学会院士）的学者当时竟然多到 7 位。此外，该系当时还有 14 位成员在 12 种国际学术刊物中担任国际编委。该系的成员还经常被各种国际会议请去作特邀报告。由此可见，Batchelor 教授的这个系虽然是一个不大的新建的集体，但其在国际上的影响之大和地位之高，却远远超出了它不多的人数和它不长的历史。因此，向他请教他办系的成功经验，以便吸收那些精华为我国科学研究事业现代化服务，就成为我们这次访问的目的。

5.3 Batchelor 教授办系的指导思想

Batchelor 教授对我们说，1959 年他感到有办一个应用数学系的必要。但是应用数学涵义很广，它不仅包含了物理学中的应用数学，而且它已广泛地渗透到其他学科中去。例如社会学、经济学、生物学等。所以在办系之初就应该明确，我们要搞的是什么样的应用数学。对此，Batchelor 教授在应用数学后面加了一个限定，那就是理论物理。即 Batchelor 教授要搞的是物理学中的应用数学，它仅仅是渗透在从经典物理到现代物理范围

中的应用数学，这就是理论物理。Batchelor 教授进一步强调指出，应用数学并不是你在物理学中遇到了一个什么问题，你的变量可以用一个方程去描述。然后你将采用什么样的数学技巧来求解。Batchelor 教授说他所讲的应用数学不是这个意思，而是指在运用数学思想的同时，要运用物理思想。要把物理思想注入于数学中，这才能解决问题，这才是我们所讲的应用数学。这里 Batchelor 教授特别加重语气强调了"注入"一词，即强调了"inject"一语。他继续说，当时在剑桥已经有了这样一批朋友，他们有着这样共同的兴趣。在此基础上，Batchelor 教授就去和大学当局商量，终于取得了学校的支持，1959 年学校就在 Cavendish 实验室（即剑桥的物理系）中拨了几间办公室集中了 20 人，成立了这个系。5 年以后才得到后来的这所建筑物。发展到现在这样的规模。正式成员有 30 人，此外还有 40 名博士后，30 名访问学者，60 名博士生。

5.4 Batchelor 教授如何选拔人才

当我们问起 Batchelor 教授如何选拔人才时，我们问他是根据候选人发表的论文数量还是质量？是出论文的速度还是水平？是论文出在什么级别的杂志上还是引用次数？他回答说都不是。他说他选人只看他的创造性，特别是原创性（Originality）。科学研究的关键是要创新，最重要的是要能做出原始创新的成果。所以，到底候选人在我们所感兴趣的领域有没有原创性，即原始创新的精神，就成为他这个系选拔人才的唯一标准。当然这是一个非常高的标准。同时，他也承认这是一个很敏感的问题，有时会引起有关人们的激动，这时他们会组织一个小型的委员

会来讨论，也允许候选人到委员会来申诉。他继续说，实际上考察一个人应该是历史地全面地来考察。在剑桥大学，我们是很幸运的。我们能够从他的大学生时代，研究生时代，博士后时代各方面的表现全面地加以考察。这样就比较准确客观。这正是把大学教学和科研结合起来的西方这种体制的优越性之一。Batchelor 教授还再三强调选拔人一定要选择最优秀的人才。这样的人不会多，所以他这个机构就必然是“小而精”，宁缺毋滥。他还说到选拔人还应在他“运动”过程中来考察。虽然他们系中的成员有好多是本系自己培养出来的，但是 Batchelor 教授说：一般而言，他们在我们这里毕业后不能马上就留校工作，而是在外面工作一段时期后看他们在外面的表现，然后再回来竞争一个更好的位置。这样可以避免近亲繁殖的缺点。

5.5 Batchelor 教授如何安排系里的科研工作

Batchelor 教授这个系的科研成果是非常惊人的，然而我们却看不到他们每年在忙于制定研究规划，选择研究课题，检查研究进程，总结研究经验。不像我们那时的科学院情况。那时我们每年年初都要开会讨论研究方向，大家一起来讨论研究规划，然后年中领导还要组织各种检查，到了年底还要再开会总结评比。大家要开的这类会议很多，实际上都是些行政性质的会议，似乎忙得很，但效果却很小，没有出过什么像样的成果，对比 Batchelor 教授这个系差距就太大了。因此，借此机会大家就请 Batchelor 教授谈一下作为一个系主任他是如何领导这个系的科研工作的？如何安排全系的科研方向、科研规划和科研课题的？不料，Batchelor 教授却回答说，作为系主任他不干预系

里老师们的科研工作。他再三说道："不要干预，要给他们以最大的自由。"这时他就讲出了他那句名言，"选好优秀的人才，然后给他以最大的自由（Maximum freedom in the hands of good people）!"他说他们都是些最优秀的人，他们之所以勤奋工作，是因为他们都热爱自己选定的工作。他们知道应该做什么，并且知道如何去做，在这方面就不再需要领导去做工作了。然后他再次强调了他那句话："理论工作是一个高强度的脑力活动，因此这里需要的是人们的高度自觉，如果他没有自觉，你就是整天在他的身边讲：'Thinking! Thinking! Thinking!（思考！思考！思考!）'那仍不会产生任何效果。"这使我想起了他和我谈工作时的情景，以及他和 Jeffrey 谈工作时的情景，看来他对他这个指导思想确实是身体力行的。他并且向我们讲了一个成功的例子，就是系里的 Dr. Huppert 在开创地质流体力学上的贡献。他说 Huppert 博士在把流体力学中的双扩散理论（double diffusion）引入于地质岩浆流动问题研究之中，从而对开创地质流体力学做了出色的贡献。可是 Batchelor 却讲这个成功完全是 Huppert 自己的主动结果，而 Batchelor 却对此事没有作过任何的推动促进工作。当然，Batchelor 也承认作为系主任他对全系的科研工作也不是绝对地放任自流。无所作为，也是不应该的。例如他讲到，系里建立并开展数值分析的研究，就是他根据全系开展工作的需要提出来的一个例子。还要补充一点关于自由的问题。Batchelor 教授常讲"最大限度的自由"，但是，却从来不讲"绝对自由"。事实上，他那里确实没有绝对的自由。有一次，Batchelor 教授找到我对我说：和你们一起来的那位年轻人有好长时间没到系里来了。我不知道是什么原因。请你转告他，

如果他不需要我们给他提供的办公桌的话，我准备收回。因为，还有人等着用它呢！我大吃一惊，赶忙找到那位年轻朋友。他也吓了一跳，忙向我解释道：这段时间他的导师出差不在剑桥。按照国内大学老师不坐班的惯例，老师平常没有事就可不到系里来，所以他才没有去系里。没想到在 Batchelor 教授这里却不行，于是他赶忙到 Batchelor 那里做了检讨，此事才算了结。原来，Batchelor 这里确实没有坐班制：老师们不来上班不必请假，更没有考勤制度，不存在迟到早退旷课旷工问题，好像是很自由了，其实不然。只要仔细一点就可注意到 Batchelor 这里有一点和国内不一样。国内大学，老师不坐班，学校也不给老师们提供办公室。可是，Batchelor 这里却给老师们提供了办公室。所以，老师们还是应该来上班。只不过他们实行的是相对自由的坐班制。但绝不能理解为这是绝对自由。你长期不来上班，他们还是要管的。

5.6 Seminar（学术报告会）

在访问中间休息时，Batchelor 教授带领我们到一楼他们的大饮茶室去喝茶。然后他指着那里墙上挂着的大布告牌对我们说："这上面写满了本系各大组在本周的重要的 Seminar 活动。"他接着说道："如果在上课期间，有哪一周这个布告牌是空白，该周没有重要的学术活动，那就是我的失职。"看来他把组织全系的 Seminar 活动看成是一个学术机构领导者的基本职责所在。这真是聪明的办法，比起我们那时的科学院让大家经常开行政性质的会议来讨论工作计划检查评比强多了。他接着指出，这种学术讨论会上要讨论的是你这个工作的基本物理思想，而不

是工作的细节和解题的数学技巧。这种讨论才会对学术发展起正面地推动作用。他把这种讨论叫做思辨性的讨论（Speculative Discussion）。在这样的指导思想下，该系每个课题小组和业务大组的负责人，主要工作也是如此。他们都有非常广阔的视野，他们都关注着本组、本系、本校、外校以及国际上本学科的最新进展和学术动态。每到学期末就开始筹划下一学期本组将要邀请什么人来做报告，联系好后就出安民告示，讲清楚下学期本组的每周的 Seminar 安排。于是，这个系就非常热闹。经常有来自世界各地的科学家们，到这个系里来做报告，这个系实际上也就成为一个长年不断的小型的国际会议。这个系的老师们也就非常忙，忙于开会，不过不是我们在国内常开的那种行政性质的会议，而是学术报告会。每周每人至少要参加两次 Seminar。以流体力学大组为例，每一个成员每周至少要参加本课题组的 Seminar 一次，然后是周五下午参加流体力学大组的 Seminar 一次。这个系的老师们实际上就始终处在不断的高水平的学术思想交锋之中，难怪他们出优秀的学术成果效率有这么高。除此之外，他们的工间茶制度，Batchelor 教授也十分重视，认为那是一个更随便的学术活动场所，更方便的学术交流的场合，不可放弃。实际确实如此，Van Dyke 的那本名著《流体力学中的微扰方法》就是在一次工间喝茶时剑桥朋友们推荐给我的。这本书确实对我后来解决内外域解匹配难题时起了很好的关键作用。在我结束了剑桥的进修工作回国时，他还再三嘱咐我要把剑桥的 Seminar 制度、Tea Break 制度引入中国的学术机构中来。他说："这肯定会对你们国家的科学事业发展起到良好的推动作用。"

5.7 Batchelor 教授如何管理这个系

Batchelor 教授说他对这个系的管理工作总的要求是小型化，分散化。所谓小型化，就是指系的管理机构要尽量小，他不搞很大的官僚机构来管理。全系的日常管理工作就由他的秘书一人来做。此外，她还负责全系经费的管理，监察和结算。从学校拨下来的经费由他系主任来决定如何分配。遇有问题一般在 Tea Break 时间商量一下就可解决。他不花很多时间在管理工作上。Batchelor 教授还说道，他不想在他这个系搞很多的层次。确实，在他这个系里很难让人们感觉出有什么上下层次等级之分。每一个学科只有一位教授。只有在该教授的办公室门上可以写明他的职称 Professor。其他人的办公室，不管你是副教授（在剑桥这个职称叫 Reader（读者）），也不管你是讲师，或者是博士后，在办公室的门上一律不写职称，只写学位 Dr.（博士）。大家在日常工作中相互之间称呼，也都一律按照 Batchelor 教授的规定，直呼对方的名字，不说对方的职称，也不说对方的职位，他们从不称呼人为某某院长，某某主任，某某教授或某某院士（F. R. S.）。在这个系的组织结构里，职称和职位可以是相反地组织起来的。组长可能是一位博士后，而教授，副教授，讲师却可能是组员。很明显 Batchelor 教授力图从管理结构上能营造出这个系有一个平等的学术气氛。好让大家在这个系里日常的学术讨论中确实能做到没有任何顾虑，畅所欲言，达到百家争鸣的境界。管理工作上的分散化（decentralization）是指系主任并不是大权独揽，一个人说了算。而是尽可能地把权分散开来。特别是分散给各个学科的教授。这里有一个例子。

和我们同去剑桥 Batchelor 教授这个系进修的一位年轻朋友想把自己的身份改一下，从访问学者改成博士生，想到该系另一位教授那里去读博士学位。他向系主任 Batchelor 提出了申请，但是很遗憾，他被 Batchelor 否决了。可是这位年轻朋友很坚定，他并不因 Batchelor 的否决而气馁，相反，他找到那位教授直接向他提出了这一请求，最后这位年轻朋友成功了，终于在剑桥那位教授那里读成了博士学位。这件事说明至少在读博士学位问题上，权力是分散在各个教授手里，系主任并没有最后决定权。后来，剑桥的一位朋友和我谈起，从前有一位很有名的剑桥学者说过一句很聪明的话："All power corrupts. Absolute power corrupts absolutely!"（所有的权力都会腐蚀人，绝对的权力腐蚀起人来也是绝对地！）看来，Batchelor 教授是确信这句名言并身体力行的领导者，所以他的办法是尽可能地把他手里的权力分散开，化整为零，相互制约，使他手中的权力的腐蚀性尽可能地降到最低。还要说明一点。Batchelor 教授不让我们那位年轻朋友读博士学位，并不是针对这位年轻朋友个人的。后来，我驻英使馆交给我一个任务，要我做做 Batchelor 教授的工作，说国内有关单位想送一些年轻人到他这里来读博士学位，他照样回绝了。他说读博士学位要花很多钱，不值得。我说，不要你花钱，这些人的学费会由我国政府来出。他仍然不同意，他说："花那么多的钱去读博士学位不值。就像你们这样，以访问学者身份到我们这里来进修，花费不大，却仍然能学到很多东西，这不是很好的事吗？中国现在还不富裕，不应该把钱花在供人们读学位上。那个学位是用钱堆起来的！"随后有一次我和剑桥的朋友谈起此事时，那位剑桥朋友对我说，Batchelor 教授的想

法有道理。从历史上看，在英国建立博士学位制度，是为了卡外国人。不要外国人在英国的高校中轻易就能拿到教授职称，更不能拿到英国的“院士（F. R. S. ）”称号。比如，Batchelor的老师，20世纪上半叶的一位国际流体力学大师G. I. Taylor。虽然他是剑桥的教授，又是“院士（F. R. S. ）”。但是他却没有读过博士学位。原因就是因为G. I. Taylor是英国人。而Batchelor却不行。他就必须拿到剑桥的博士学位以后，才能做教授，才能当英国的“院士（F. R. S. ）”。因为Batchelor不是英国人，他是澳大利亚人，他就必须经过更多的考验。

5.8 Batchelor教授的理论物理系竟然还有个实验室

这个实验室是流体力学实验室。它还很有特色，小而简单。他们不搞大型的复杂的高级实验设备，其设备甚至还比不上当时的中国科学院力学所高级。但从这样的实验室里却做出一些很有意义的科学成果，有些已成为流体力学上的经典载在国际流体力学的发展史中，很不简单。对此我们向Batchelor教授请教，一个研究理论的单位办这样的实验室的指导思想。他说，理论研究中的实验室工作并不是要验证一些现成的科学理论，而是要实现自己的新的科学思想。经过精心的分析研究，抓住一些主要的物理因子，从而能推断出在这样的物理因子作用下应该能产生什么样的物理现象，探索出新的物理规律，而把更为精确和精密的实验测量交给工程技术单位去做，这就是理论研究中的实验工作。在这种思想指导下，就没有必要去搞大型复杂高级的设备。借助于一些简单的实验系统，进行一些定性的至多是半定量的实验研究，完全可以达到探索新的基本规律

的目的。在这方面他说他的导师 G. I. Taylor，正是这种类型工作的一位典范。在该系的一楼大饮茶室中挂有这位大师的大幅画像，Batchelor 指着 G. I. Taylor 的画像对我们说，G. I. 是于 1975 年以 89 岁高龄去世的 20 世纪的大科学家，他即是一位卓越的理论科学家，也是一位卓越的实验科学家。这个实验室的工作就是按照他的思想路线指导下工作的。然后他领着我们参观了该系的流体力学实验室，向我们一一讲解了实验室中的那些简单的设备曾经完成了什么样的卓越工作。当然，他也指出，并不是绝对的不要高级设备。他指着一台激光测试设备对我们说，这台设备比较贵，在必要的时候，我们也会建立这样贵重的高级设备。然而后来在该系工作的一位这种类型的科学家对我说，理论工作者的思想是非常活跃的，所以他不喜欢去搞大而高级的昂贵设备，因为你一旦搞成了这种设备，你的工作就必须被固定在这样的设备上，你的思想就被钉死在那里无法再跳到别处去了。

5.9 关于力学学科的性质

由于当时在国内正在制定国家中长期科学发展规划，力学界内部对力学学科的性质发生了争论。究竟力学算是基础学科？还应当算是工程技术学科？对此有不同的见解，因而产生了一场激烈的争论。流体力学是力学学科中一个重要的组成部分，借此机会我们也就请 Batchelor 教授谈一谈他对这个问题的看法。Batchelor 教授欣然接受了我们提的这个问题，并谈了以下他的看法。他说："力学具有两重性，是一个连续的'广谱'。它既具有基础科学性质，同时也具有工程技术学科性质，把这两种学科性质对立起来是不对的。"他接着讲道："也许问题是对我

们这个单位侧重点应该放在什么地方，这应该具体问题具体分析。”以他这个系为例。他说：“对于我们这个系而言，我们别无选择，只有把它当做基础学科来搞。在这个意义上，我们不搞空气动力学。因为它的基本问题已经在20世纪上半叶就已做完，现在它已经完全和航空航天工程结合起来成为一门工程技术学科了。然而在我们把流体力学当做基础科学来搞时，我们也不去做那些离应用太远，太纯粹的问题我们也是不去做的。”这时马上让我想起当初Batchelor介绍我和Hunt接触时，Hunt对我说过的一句话，Hunt说他虽然做湍流研究但是他不搞湍流的基本问题，这就排除了我当初向Batchelor申请到剑桥进修时所提的湍流的间歇性问题。同时，也让我想起曾经有一位在国内搞流体力学的朋友到剑桥访问Batchelor教授时提出的类似问题。Batchelor教授也做了同样的回答。说他不搞太纯粹的基本问题。那位朋友接着问：“什么叫太纯粹的基本问题?”Batchelor教授回答说：“例如，你所做的流动的稳定性问题我们就不搞”。事实上，到了20世纪下半叶，作为基础学科的流体力学在完成了空气动力学方面的研究任务，为航空航天工程事业打下了很好的基础后，就把自己的研究目光转向其他应用方面，由此诞生了许多新的学科。在这方面Batchelor教授的这个系走在国际前列。Batchelor教授自己的悬浮体力学就是他和化学工程学科紧密结合的结果；Hunt的非均匀大气扩散就是他和大气科学环境科学结合的结果；Pedley的生物流体力学就是他和医学结合的结果；Gill的地球物理流体力学就是他和地球学科结合的结果，以及刚才提到Huppert的地质流体力学是他和地质科学结合的结果等等。当然，在他们向其他各个应用学科工程学科渗透时，

他们总是去研究这一工程学科应用学科中与流体力学紧密相关的那些基本问题来做，而不会陷入各门工程学科的细节，也就是说不会去研究具体的工程技术问题。这可能就是我们现在常说的应用基础学科吧。对此，他们搞得相当深入，做得相当深刻。有时候你会感到他们搞的这一套，和纯基础学科没有什么不同，在我搞 Batchelor 教授的悬浮体力学时有时就有这种感觉。像 Batchelor 教授做的这个多分散悬浮粒子沉降理论如此艰深，如此难懂，真的能为工程技术人员所使用吗？直到 90 年代有一次我应邀在中国颗粒学会年会上作大会特邀报告，报告受到热烈的欢迎。报告结束后与会的代表们还纷纷找我来索取这方面的资料要带回去进一步研究。我说这些数据还是初步的，不一定能适合你们的工程需要。他们说，没关系，你现在的这些资料就对他们很有用。中国颗粒学会的广大会员们，大多来自各个工程部门，他们对 Batchelor 教授的悬浮体力学如此感兴趣，这时才使我真正体会到 Batchelor 的这一套确实是能够为应用部门和工程部门做些服务的。我们的心血并没有白流，意识到这一点，我感到莫大的欣慰。还要补充一点，他们虽然自己不做纯基础问题，但不等于他们对这类问题就一点兴趣也没有。相反，他们在密切关注着这方面的新进展。例如，当 Frisch 等人在湍流的间歇性问题研究中取得了重大进展后，虽然他们自己如 Hunt 所说，他们不做湍流方面的基本问题，但那时他们马上就把 Frisch 请来邀他向剑桥的朋友们做报告，以使剑桥人能跟上这方面的形势。1972 年我在长春的近地面大气湍流中的激光传输实验也曾发现湍流的不连续性（即间歇性），并且长期为此而迷惑不解，现在通过 Frisch 的报告使我第一次知道了这一现

象的可能解释，内心自是十分高兴。另一方面，对于已经变成工程技术学科的空气动力学，我们在剑桥时，就没有发现他们请这方面的人来做过报告。一个单位应该保持自己的特色，一个人的精力也很有限，他们既然已经把自己系的研究方向确定为基础学科，就没有必要也没有精力去关心纯工程技术方面的问题了。

5.10 关于苏联式的科学院体制

改革开放前，我国的科研体制是照抄前苏联的。我们把全国的基础科研精英都集中起来，建立了中国科学院。而大学则被剥夺了科学研究，变成只搞教学的地方。这种科研和教学分家的体制一直保持到打倒“四人帮”改革开放为止。改革开放以后，大家发现原来还有另外一种体制，那就是西方现行的把科研和教学都集中在高校的体制，科学院仅仅是一个荣誉性的机构。看起来西方那种体制在发展科学问题上更为有效。于是大家议论纷纷都觉得这种苏联式的科学院体制应当改革，怎么改法？却不大清楚。借着和 Batchelor 教授座谈的机会，我们就请他也谈谈对此问题的看法。Batchelor 教授回答说，他对苏联科学院也有一些了解。在他们革命前，俄罗斯也有科学院，但是和英国的皇家学会差不多，俄罗斯科学院也是个荣誉性的团体。在他们革命以后，苏联政府把它改造成了政府的一个机构，也集中了一大批科技精英，成立了一大批研究所。这样苏联科学院的功能就起了很大的变化。它被指望能解决与国民经济生产技术有关的一些关键问题。建立起很严密的组织机构，有很强的行政领导，制订了周密的计划，去推动科技工作的发展，

为苏联国民经济建设服务。Batchelor 教授接着说在西方也有类似的机构，但那主要是在大公司大企业手里，例如著名的 Bell 电话实验室。这种类型的研究机构在解决一些工程技术问题上可能是很有效的。说到这里，Batchelor 教授把话头一转说，然而对于基础科学而言（Batchelor 教授把它叫做 Basic Science)，这样的机构则完全不行。因为，基础科学研究的任务是探索未知的世界。目的是要发现新的现象，发现新的规律，建立新的理论。此时，Batchelor 教授强调说，你可以发现新的东西，但是你完全无法预言，你将在什么时间什么地方发现什么样的新东西。因此，基础科学研究就无法像工程技术科学那样来制定严密的计划，在强有力的行政领导下推动工作向前发展以达到既定的明确的目标。然后，Batchelor 教授再次强调说，基础科学研究对于人们的要求是一种十分积极，十分主动的创造性的脑力活动，如果本人对这个问题没有兴趣，你就没有办法通过行政命令来让他的思想活动起来。在这样的情况下，你就是整天在他身旁对他说："Thinking! Thinking! Thinking!（思考！思考！思考!)"也是无济于事的。因此，Batchelor 教授也就再次强调说，对于基础科学研究这样的工作而言，我们的办法就是："Maximum freedom in the hands of good people!（选择好优秀的人才，并给他以最大限度的自由!)"（按照 Batchelor 教授的思想，一个学术单位的领导同时还应该组织经常的、高频率高水平的 Seminar 活动，通过搞这种类型的学术活动的办法来推动并促进基础研究学术工作向前发展)。Batchelor 教授继续说，在这种情况下，投资者能够做的就是像我们西方（特别是美国和英国）那样，把经费分散到几十个或几百个大学里去，然后就等待果

实的成熟，而总会有果实成熟的。Batchelor 教授最后说，把基础科学研究放到大学里去还有个好处。那就是大学里的青年人最多。青年人思想最活跃，对新东西最敏感，最少旧的思想束缚，精力最充沛，因此是最有创造性，最容易出创造性的成果，这是独立于大学以外的政府的研究机构所没有的优势。

5.11 告别，感谢

座谈会原定两个小时，但由于 Batchelor 教授十分热情，最后座谈会竟延长成三个小时。Batchelor 教授工作十分繁忙，他的日程经常是安排得非常紧凑，我们还没有看到他会用这么多的时间来接待一个代表团。这充分地体现出 Batchelor 教授对中国人民的友好情谊，对中国科学同行的友好情谊，对中国的科学事业能迅速地发展起来的热望。对此，在分手告别时候，我们一再地向他表示了我们衷心的感谢。

（2009 年 2 月 19 日开始写于南开园）
（2009 年 3 月 18 日初稿写成于南开园）
（2009 年 4 月 5 日修改稿完成于南开园）
（2011 年 7 月 28 日编辑并再加工于南开园）

（本文部分内容选自拙著《创新话旧——谈科学研究中的思想方法问题》其中的有关段落加以增删修改，文中关于 Batchelor 教授作风的特点和与 Batchelor 教授的座谈会报告两大部分则完全是新的，由此而成此文。）

[General Information]
书名=探索剑桥　试答钱学森之问
作者=温景嵩著
页数=148
SS号=12925848
出版日期=2011.10

前言
目录